

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI**

**HEKİM TARAFINDAN DİREKT VE İNDİREKT
ÜRETİLEN ŞEFFAF PLAKLARIN SABİT
ORTODONTİK TEDAVİ İLE VERİMLİLİK, TEDAVİ
SÜRESİ, BEYAZ NOKTA LEZYONLARI AÇISINDAN
KARŞILAŞTIRILMASI: İN VİVO RANDOMİZE KLİNİK
ÇALIŞMA**

**Hazırlayan
Dt. Musa GÖKSU**

**Danışman
Prof. Dr. Ahmet YAĞCI**

Diş Hekimliği Uzmanlık Tezi

**Şubat 2025
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI**

**HEKİM TARAFINDAN DİREKT VE İNDİREKT
ÜRETİLEN ŞEFFAF PLAKLARIN SABİT
ORTODONTİK TEDAVİ İLE VERİMLİLİK, TEDAVİ
SÜRESİ, BEYAZ NOKTA LEZYONLARI AÇISINDAN
KARŞILAŞTIRILMASI: İN VİVO RANDOMİZE KLİNİK
ÇALIŞMA**

(Uzmanlık Tezi)

**Hazırlayan
Dt. Musa GÖKSU**

**Danışman
Prof. Dr. Ahmet YAĞCI**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından TDH-2024-14031 Kodlu Proje ve Tübitak Tarafından
124S202 Kodlu Proje ile Desteklenmiştir.**

**Şubat 2025
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu uzmanlık tezimin kendi çalışmam olduğunu ve içeriğindeki bilgilerin akademik ve etik standartlara uygun şekilde toplandığını beyan ederim. Ayrıca, başkalarının çalışmalarından yararlandığım durumlarda akademik kurallara uyarak atıf yaptığımı ve gerekli referansları doğru şekilde belirttiğimi taahhüt ederim.

Musa GÖKSU



YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

“Hekim Tarafından Direkt Ve İndirekt Üretilen Şeffaf Plakların Sabit Ortodontik Tedavi İle Verimlilik, Tedavi Süresi, Beyaz Nokta Lezyonları Açısından Karşılaştırılması: İn Vivo Randomize Klinik Çalışma” adlı Uzmanlık Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Dt. Musa GÖKSU

Danışman

Prof. Dr. Ahmet YAĞCI

Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Ahmet YAĞCI

Prof. Dr. Ahmet YAĞCI danışmanlığında **Dt. Musa GÖKSU** tarafından hazırlanan “**Hekim Tarafından Direkt Ve İndirekt Üretilen Şeffaf Plakların Sabit Ortodontik Tedavi İle Verimlilik, Tedavi Süresi, Beyaz Nokta Lezyonları Açısından Karşılaştırılması: İn Vivo Randomize Klinik Çalışma**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi **Ortodonti** Anabilim Dalı’nda **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

...../...../2025

JÜRİ

İmza

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YAĞCI.....

(ERÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD)

Üye : Doç. Dr. Gökhan ÇOBAN.....

(ERÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD)

Üye : Doç. Dr. Taner ÖZTÜRK

.....

(ERÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD)

ONAY

Bu tezin kabulü Fakülte Anabilim Dalı’nın tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Ortodonti Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Ahmet YAĞCI

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimimin ilk gününden tez çalışmamı tamamladığım bugüne kadar geçen süreçte her türlü bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen; karşılaştığım zorluklarda büyük bir sabır ve özveri ile bana destek olan, yol gösteren, öğrencisi olmaktan her daim onur duyacağım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet YAĞCI'ya,

Klinik ve akademik alanda edindiği güncel bilgilerini paylaşmaktan çekinmeyen, tecrübeleri doğrultusunda büyük bir özveri ile bana destek olan hocam Sayın Doç. Dr. Gökhan ÇOBAN'a,

Uzmanlık eğitimimin her aşamasında fikir ve deneyimlerini benimle paylaşan, yardım ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Taner ÖZTÜRK'e,

Beraber çalışma fırsatı bulduğum kısa zamanda bilgi ve tecrübesiyle beni aydınlatmaktan çekinmeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Celal IRGIN'a,

Eğitimim süresince bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim YAVUZ'a,

Dostlarım Uzm. Dt. Nizami HASHIMLI, Uzm. Dt. Ömer Faruk AVCI başta olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarım ve personelimize,

Son olarak hayatımda attığım her adımda koşulsuz sevgi, fedakârlık ve sabırla beni destekleyerek ayaklarımın her daim yere sağlam basmasını sağlayan, beni bu günlere getirebilmek için sarf ettikleri sonsuz emeğe minnettar olduğum annem Saime GÖKSU, babam Rahmi GÖKSU ve kardeşim Selma GÖKSU'ya,

Sevgi, saygı ve minnet duygularıyla çok teşekkür ederim...

**HEKİM TARAFINDAN DİREKT VE İNDİREKT ÜRETİLEN ŞEFFAF
PLAKLARIN SABİT ORTODONTİK TEDAVİ İLE VERİMLİLİK, TEDAVİ
SÜRESİ, BEYAZ NOKTA LEZYONLARI AÇISINDAN
KARŞILAŞTIRILMASI: İN VİVO RANDOMİZE KLİNİK ÇALIŞMA**

Musa GÖKSU

Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi

Ortodonti Anabilim Dalı

Diş Hekimliği Uzmanlık Tezi, Şubat 2025

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YAĞCI

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı hekim tarafından direkt ve indirekt yöntemlerle üretilen şeffaf plakların sabit ortodontik tedavi ile verimlilik, tedavi süresi, beyaz nokta lezyonları açısından karşılaştırılmasıdır.

Bireyler ve Yöntem: Çalışmamız Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalına ortodontik tedavi amacıyla başvuran 33 hasta üzerinde yürütülmüştür. Bireyler Direkt İn House (Grup A), İndirekt İn House (Grup B) şeffaf plak grupları ve Sabit Ortodontik Tedavi (Grup C) grubuna rastgele olarak ayrılmıştır. Hastalardan tedavi sonunda alınan dental alçı modeller, tedavi başında ve sonunda alınan QLF (Quantitative light-induced fluorescence) kayıtları ve toplam tedavi süresi değerlendirilmiştir. Sanal tedavi planlaması yapıldıktan sonra Direkt İn House şeffaf plak grubu (Grup A) ve İndirekt İn House şeffaf plak grubu (Grup B) için plaklar kliniğimizde üretilmiştir. Tedavi kalitesinin değerlendirilmesi için ABO-OGS (Objective Grading System) indeksi kullanılmıştır. QLF analizinde ΔF , ΔF_{max} , ΔQ , WS Area parametrelerinin T0-T1 değişimi gruplar arasında karşılaştırılmıştır.

Bulgular: İn House şeffaf plak grupları ve sabit ortodontik tedavi arasında OGS skoru açısından istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir. Beyaz nokta lezyonu oluşumu açısından 13, 14, 24, 25 ve 31 numaralı dişler hariç ΔF , ΔF_{max} , ΔQ ve WS Area parametrelerinin T0-T1 değişimi açısından istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir. 14 ve 31 numaralı dişlerde ΔF , 13, 14 ve 25 numaralı dişlerde ΔF_{max} , 14 ve 24 numaralı dişlerde ΔQ parametrelerinde İndirekt İn House grubunda (Grup B) daha fazla değişim görülmüştür. Toplam tedavi süresi Grup A'da $6,26 \pm 1,31$,

Grup B’de $7,92 \pm 3,23$, Grup C’de $9,88 \pm 2,14$ ay sürmüştür. Toplam tedavi süresi açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmüştür. Grup-A’da toplam tedavi süresi Grup-C’ye göre daha kısa sürmektedir.

Sonuçlar: Çekimsiz ortodontik tedavi uygulamasında tedavi kalitesi açısından değerlendirildiğinde direkt ve indirekt şeffaf plak teknikleri ile sabit ortodontik tedavi arasında fark bulunmamıştır. Beyaz nokta lezyonu oluşumu açısından 13, 14, 24, 25 ve 31 numaralı dişler hariç değerlendirilen geri kalan dişlerde farklı şeffaf plak grupları ve sabit ortodontik tedavi açısından fark görülmemiştir. Çekimsiz ortodontik tedavi uygulanan hastalarda Direkt İn House şeffaf plak tedavisi sabit ortodontik tedaviye göre daha kısa sürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Şeffaf plaklar, İn House, Direkt üretim

**COMPARISON OF EFFICIENCY, TREATMENT DURATION, AND WHITE
SPOT LESIONS BETWEEN CLEAR ALIGNERS MANUFACTURED
DIRECTLY AND INDIRECTLY BY THE CLINICIAN AND FIXED
ORTHODONTIC TREATMENT: IN VIVO RANDOMIZED CLINICAL
TRIAL**

Musa GÖKSU

Erciyes University, Faculty of Dentistry

Department of Orthodontics

Dentistry Specialization Thesis, February 2025

Advisor: Prof. Dr. Ahmet YAĞCI

ABSTRACT

Aim: The aim of this study is to compare the efficiency, treatment duration, and white spot lesions of clear aligners manufactured directly and indirectly by the clinician with fixed orthodontic treatment.

Subjects And Methods: This study was conducted on 33 patients who sought orthodontic treatment at the Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry, Erciyes University. Participants were randomly assigned to three groups: Direct In-House clear aligner group (Group A), Indirect In-House clear aligner group (Group B), and Fixed Orthodontic Treatment group (Group C). At the end of treatment, dental plaster models, Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF) records obtained at the beginning and end of treatment, and total treatment duration were evaluated. After virtual treatment planning, clear aligners for Group A (Direct In-House) and Group B (Indirect In-House) were fabricated in our clinic. To assess treatment quality, the American Board of Orthodontics Objective Grading System (ABO-OGS) was utilized. In the QLF analysis, the T0-T1 changes in ΔF , ΔF_{max} , ΔQ , and White Spot (WS) Area parameters were compared among the groups.

Results: In non-extraction orthodontic treatment, no difference was found in terms of treatment quality between direct and indirect clear aligner techniques and fixed orthodontic treatment. Regarding the formation of white spot lesions, no significant difference was observed among the different clear aligner groups and fixed

orthodontic treatment for the evaluated teeth, except for teeth numbered 13, 14, 24, 25, and 31. In patients undergoing non-extraction orthodontic treatment, Direct In-House clear aligner therapy was completed in a shorter duration compared to fixed orthodontic treatment.

Keywords: Clear aligners, In House, Direct production



İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	xiii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
1.GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1. Ortodontide Üç Boyutlu Yazıcılar ve Üç Boyutlu Üretim.....	7
2.1.1. Dijital Diş Hekimliğinin Gelişimi.....	7
2.1.2. Üç Boyutlu Yazıcıların Ortodontide Kullanımı	8
2.2 Şeffaf Plakların Tanımı Ve Tarihçesi.....	9
2.2.1. Şeffaf Plaklar Jenerasyonları	11
2.2.1.1. Birinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar.....	11
2.2.1.2. İkinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar	11
2.2.1.3. Üçüncü Jenerasyon Şeffaf Plaklar	12
2.2.1.4. Dördüncü Jenerasyon Şeffaf Plaklar.....	12
2.2.1.5. Beşinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar.....	13
2.2.1.6. Altıncı Jenerasyon Şeffaf Plaklar.....	13
2.2.1.7. Yedinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar	13
2.2.1.8. Sekizinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar	13
2.3. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Çalışma Prensibi	14
2.4. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Avantaj Ve Dezavantajları.....	14
2.4.1. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Avantajları.....	14
2.4.2. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Dezavantajları	15
2.5. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Endikasyon Ve Kontraendikasyonları15	
2.5.1. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Endikasyonları:	15

2.5.2. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Kontraendikasyonları	16
2.6. Şeffaf Plak Üretim Süreci.....	16
2.7. Şeffaf Plaklarda Kullanılan Malzemeler	18
2.7.1 Termoplastik Polimerler	18
2.7.2. Polimer Karışımları.....	20
2.7.3. 3D Baskı ile Üretilen Şeffaf Plaklar	20
2.8 Şeffaf Plak Malzemelerinin Özellikleri.....	25
2.8.1. Mekanik Özellikler, Gerilme Gevşeme Fenomeni ve Şeffaf Plak Malzemelerinin Fiziksel Performansı	25
2.8.2 Termal Özellikler ve Termoform Sürecinin Şeffaf Plak Davranışı Üzerindeki Etkisi	29
2.9. Amerikan Ortodonti Kurulu (ABO) İndeksleri	31
2.9.1. Uyumsuzluk İndeksi (DI)	31
2.9.2. Objektif Derecelendirme Sistemi (OGS).....	35
3. BİREYLER VE YÖNTEM.....	37
3.1 Bireyler	37
3.1.1. Çalışmaya Dâhil Edilme ve Hariç Tutulma Kriterleri	39
3.2. Yöntem	40
3.2.1 Ağız İçi Tarama	40
3.2.2 Dental Taramaların İçe Aktarılması	40
3.2.3. Diş Numaralandırma ve Segmentasyon.....	41
3.2.4 Diş Referans Eksenlerinin Belirlenmesi	42
3.2.5. Sanal Kurulum	43
3.2.6. Dosyaların Dışa Aktarılması ve Üretimi	45
3.2.6.1. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plakların Dışa Aktarılması 45	
3.2.6.1.1. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plakların Tasarımı....	46
3.2.6.1.2. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plaklara Destek Eklenmesi	47
3.2.6.1.3 Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plakların Basılması ...	48
3.2.6.1.4 Grup A-İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plaklardaki Fazla Reçinenin Giderilmesi ve Desteklerin Kaldırılması.....	48
3.2.6.1.5 Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plaklarda UV Kürleme	49

3.2.6.1.6 Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plaklarda Polisaj İşlemi	50
3.2.6.2. Grup B İn House İndirekt Şeffaf Plakların Dışa Aktarılması ve Model Üretimi	50
3.2.6.2.1. Grup B İn House İndirekt Şeffaf Plak Modellerin Termoformlama İşlemi	51
3.2.6.2.2. Grup B İn House İndirekt Şeffaf Plaklarının Kenar Şekillendirmesi	52
3.2.7. Grup A ve Grup B Şeffaf Plakların Teslim Protokolü.....	52
3.2.8. Grup C Sabit Ortodontik Tedavi Grubu Hastalara Ortodontik Apareylerin Uygulanması	53
3.2.9. Çalışmada Değerlendirme için Alınan Kayıtlar ve Kayıtların Analizi..	53
3.2.9.1. Objektif Derecelendirme Sistemi (OGS) Ölçüm Yöntemi	53
3.2.9.1.1. Sıralanma	53
3.2.9.1.2. Marjinal Kenar Uyumu	54
3.2.9.1.3. Bukkolingual Eğim.....	55
3.2.9.1.4. Overjet	57
3.2.9.1.5. Okluzal Kontak.....	58
3.2.9.1.6. Okluzal İlişki	60
3.2.9.1.7. İnterproksimal Kontaklar	62
3.2.9.1.8. Kök Eğimi	63
3.2.9.2. Tedavi Süresi Değerlendirme.....	66
3.2.9.3. Beyaz Nokta Lezyonları Kayıtları ve Değerlendirilmesi.....	66
3.2.10. İstatistiksel Değerlendirme	67
3.2.10.1. Ölçüm Hatasının Değerlendirilmesi.....	68
4.BULGULAR	69
4.1. Bireylerin Demografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi	69
4.2. Objektif Derecelendirme Sistemi (OGS) Bulguları	70
4.3. Toplam Tedavi Süresine Ait Bulgular.....	76
4.4. QLF Analizine Ait Bulgular.....	76
5.TARTIŞMA	83
5.1. Çalışmanın Amacı	83
5.2. Bireyler ve Yöntem	84

5.2.1. Bireylerin Seçilme Kriterleri	84
5.2.2. Şeffaf Plak Apareylerinin Seçilmesi.....	87
5.2.3 Yazılım Programı ve 3 Boyutlu Yazıcının Seçilmesi.....	88
5.2.4 Dental Modellerin Analizi	89
5.2.5 QLF Kayıtlarının Elde Edilmesi ve Beyaz Nokta Lezyonlarının Değerlendirilmesi.....	90
5.3. Bulguların Tartışılması.....	91
5.3.1. ABO OGS Değerlerinin Karşılaştırılması	91
5.3.2. Toplam Tedavi Süresinin Karşılaştırılması	96
5.3.3. QLF Bulgularının Tartışılması	97
6. LİMİTASYONLAR.....	100
7. SONUÇLAR	101
8. KAYNAKLAR	102
EKLER	
.....	Hat
a! Yer işareti tanımlanmamış.	
ÖZGEÇMİŞ	
.....	Hat
a! Yer işareti tanımlanmamış.	



KISALTMALAR ve SİMGELER

CAD/CAM	:bilgisayar destekli tasarım ve Modelleme
3D	:üç boyutlu
3DPIN	:3D baskı ile üretilen plaklar
ABO	:Amerikan Ortodonti Kurulu
ABS	:akrilonitril-bütadien-stiren
CAM	:Bilgisayar Destekli Üretim
CAT	:Bilgisayar Destekli Ortodonti
CHDM	:1,4-siklohekzan dimetanol
CT	:bilgisayarlı tomografi
DI	:Uyumsuzluk İndeksi
DLP	:dijital ışık işleme
EC	:Avrupa Komisyonu
EG	:etilen glikol
EIT	:çökme modülü
EX30	:Exceed30
FDA	:Gıda ve İlaç Dairesi
FFF	:Erimiş filaman üretimi
HM	:Martens sertliği
IPR	:interproksimal diş azaltımı
KFDA	:Korea Food and Drug Administration
OGS	:Objektif Puanlama Sistemi
PAR	:Peer Assessment Rating
PC 30	:Proceed30
PET	:polietilen tereftalat
PETG	: polietilen tereftalat glikol
PVS	:polivinil siloksan
QLF	:kantitatif ışık kaynaklı florans
RIT	:çökme gevşemesi
SLA	:stereolitografi
SLM	:eriyik işleme
SLS	:seçici lazer sinterleme

SLS	:selektif lazer sinterleme
ŞPTS	:Şeffaf Plak Tedavi Sistemi
T _g	:cam geçiş sıcaklığı
TPA	:tereftalik asit
TPU	:Termoplastik poliüretan
UV	:Ultraviyole
η _{IT}	:elastik indeks
Mm	:Mikrometre



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 4.1.	Grup ve cinsiyet arasındaki ilişkinin incelenmesi	69
Tablo 4.2.	Çalışmaya dahil edilen bireylerin yaş ve cinsiyet dağılımı	69
Tablo 4.3.	Gruplara göre parametrelerin karşılaştırılması	71
Tablo 4.4.	Grupların toplam tedavi süresi açısından karşılaştırılması	76
Tablo 4.5.	Toplam ortalama plak sayısının karşılaştırılması	76
Tablo 4.6.	Her bir diş için gruplara göre QLF parametrelerindeki T0-T1 değişiminin karşılaştırılması	79



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Geleneksel indirekt yöntem.....	4
Şekil 1.2.	Direkt yöntem.....	4
Şekil 2.1.	Cerrahi bir kılavuzun 3D baskı ile klinik uygulaması.....	21
Şekil 2.2.	Farklı ortodontik malzemelerin gerilme-eğilme eğrilerinin göreceli bir karşılaştırmasını gösteren bir illüstrasyon;.....	27
Şekil 2.3.	DI formu	35
Şekil 3.1.	3Shape (Trios®, Danimarka) ağız içi tarayıcı.....	40
Şekil 3.2.	Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımına aktarılan stl modeli.	41
Şekil 3.3.	Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımında yapılan segmentasyon işlemi.....	42
Şekil 3.4.	Dişlerin merkezi noktasının ve eksen eğimlerinin ayarlanması.....	43
Şekil 3.5.	Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımında dişlerin sanal kurulumu aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.....	45
Şekil 3.6.	Direct Aligner Designer yazılımına aktarılan modeller.	46
Şekil 3.7.	Direct Aligner Designer yazılımında oluşturulmuş 0,5 mm kalınlığa sahip şeffaf plak kabuğu.	47
Şekil 3.8.	Direct Aligner Designer yazılımında oluşturulmuş destekler	47
Şekil 3.9.	Asiga Max UV yazıcı.....	48
Şekil 3.10.	Tera Harz Spinner santrifüj cihazı	49
Şekil 3.11.	Otoflash G171; NK-Optik (GmHb, Baierbrunn, Germany) kürlleme cihazı	50
Şekil 3.12.	A) MINISTAR S® basınçlı şekillendirme makinesi B) Asiga Max UV 3D yazıcı	51
Şekil 3.13.	Ön bölgede sıralanma.....	53
Şekil 3.14.	Arka bölgede sıralanma.....	54
Şekil 3.15.	Sıralanmanın Değerlendirilmesi.....	54
Şekil 3.16.	Marjinal kenar uyumunun değerlendirilmesi	55
Şekil 3.17.	Mandibular arkta bukkolingual eğimin değerlendirilmesi	56
Şekil 3.18.	Maksiller arkta bukkolingual eğimin değerlendirilmesi	56
Şekil 3.19.	Bukkolingual eğimin değerlendirilmesi.....	56
Şekil 3.20.	Bukkolingual eğimin değerlendirilmesi.....	57

Şekil 3.21. Ön ve arka dişlerde ideal overjet.....	57
Şekil 3.22. Arka dişlerde overjetin değerlendirilmesi	58
Şekil 3.23. Ön dişlerde overjetin değerlendirilmesi	58
Şekil 3.24. İdeal okluzal kontaklar	59
Şekil 3.25. Okluzal kontağın değerlendirilmesi	59
Şekil 3.26. Okluzal kontağın değerlendirilmesi	60
Şekil 3.27. İdeal oklüzal ilişki	60
Şekil 3.28. Okluzal ilişkinin değerlendirilmesi	61
Şekil 3.29. Sınıf II ve Sınıf III bitimli modellerde okluzal ilişkinin değerlendirilmesi ..	61
Şekil 3.30. İdeal interproksimal kontaklar	62
Şekil 3.31. İnterproksimal kontakların değerlendirilmesi	62
Şekil 3.32. İdeal kök eğimleri.....	63
Şekil 3.33. Kök eğimlerinin değerlendirilmesi	63
Şekil 3.34. OGS kayıt formları.....	65
Şekil 4.1. Tüm olgularda ve gruplarda sıralanma skorları	71
Şekil 4.2. Tüm olgularda ve gruplarda marjinal kenar uyumu skorları.....	72
Şekil 4.3. Tüm olgularda ve gruplarda bukkolingual eğim skorları.....	72
Şekil 4.4. Tüm olgularda ve gruplarda overjet skorları.....	73
Şekil 4.5. Tüm olgularda ve gruplarda okluzal kontak skorları	73
Şekil 4.6. Tüm olgularda ve gruplarda okluzal ilişki skorları	74
Şekil 4.7. Tüm olgularda ve gruplarda interproksimal kontak skorları.....	74
Şekil 4.8. Tüm olgularda ve gruplarda kök eğimi skorları.....	75
Şekil 4.9. Tüm olgularda ve gruplarda toplam OGS skorları.....	75

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Şeffaf plaklarla yapılan ortodontik tedavi, geleneksel braketler ve teller yerine estetik bir seçenek arayan genç ve yetişkin ortodonti hastaları arasında giderek daha popüler bir tercih haline gelmektedir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, şeffaf plaklar hem hastaların konfor ve estetik beklentilerini karşılamakta hem de hekimler için tatmin edici tedavi sonuçları sunmaktadır. Son dönemde yetişkinlerde artan ortodontik tedavi talebi ile birlikte, geleneksel sabit apareylerden daha estetik ve daha konforlu tedavi yöntemlerine yönelik ilgi de artmıştır [1]. Plakların şeffaf ve neredeyse görünmez olmaları, yemek yerken, diş fırçalama ve diş ipi kullanımı sırasında çıkarılabilmeleri, sabit diş tellerine, hatta seramik ve lingual braket sistemlerine göre estetik, konfor ve ağız hijyeninde büyük avantajlar sunmaktadır [2]. Şeffaf plaklarla ortodontik tedavide, tedavi süresi ve hastanın diş hekimi koltuğunda geçirdiği süre, sabit diş tellerine kıyasla azalabilmektedir [3].

İlk şeffaf plaklar, ortodontik tedavinin son aşamaları için bir araç olarak veya yalnızca dişlerdeki küçük düzensizlikleri düzeltmek amacıyla geliştirilmiştir [4]. Şeffaf plak teknolojisindeki ilerlemeler sonucunda, bu plakların orta ve şiddetli maloklüzyonların tedavisinde kullanılmasına imkân tanınmıştır.

Bir şeffaf plak serisinin oluşturulma süreci, ilk olarak alınan alçı modelin taranmasıyla veya diş yapısının doğrudan dijital üç boyutlu ağız içi taramasıyla sanal planlama yazılımına aktarılmasıyla başlar. Tedavi setindeki her bir plak için fiziksel bir üç boyutlu ağız içi modele ihtiyaç duyulur. Daha sonra, şeffaf materyalin bu üç boyutlu ağız içi modeller üzerine ısıyla şekillendirilmesiyle plaklar üretilir. İşlemin son aşamasında, ısıyla şekillendirilen şeffaf plakların trimleme sürecinden geçmesi gerekir. Üretim sürecinin aşamalı olması, süreci nispeten uzattığı ve maliyeti artırdığı düşünülmektedir [5, 6].

Isıyla şekillendirme işlemi sonrasında malzeme özelliklerinde önemli değişiklikler rapor edilmiştir. Isıyla şekillendirmenin malzemenin şeffaflığını azalttığını ve test edilen malzemelerin su emilimini, suda çözünürlüğünü ve yüzey sertliğini arttırdığını gösterilmiştir. Aynı zamanda ısıyla şekillendirme işlemi sürecinde kalınlık ve malzemenin elastik modülü azalma eğilimi göstermektedir [7]. Şeffaf plağın kalınlığı, iletilen kuvvetlerin büyüklüğünde önemli bir rol oynamaktadır. Isıyla şekillendirilen şeffaf plaklarda ısı işlem sonucu oluşan 14 materyal kalınlığındaki düzensizlikler, plağın yerleştirme doğruluğunu ve uyumunu etkilemektedir [5].

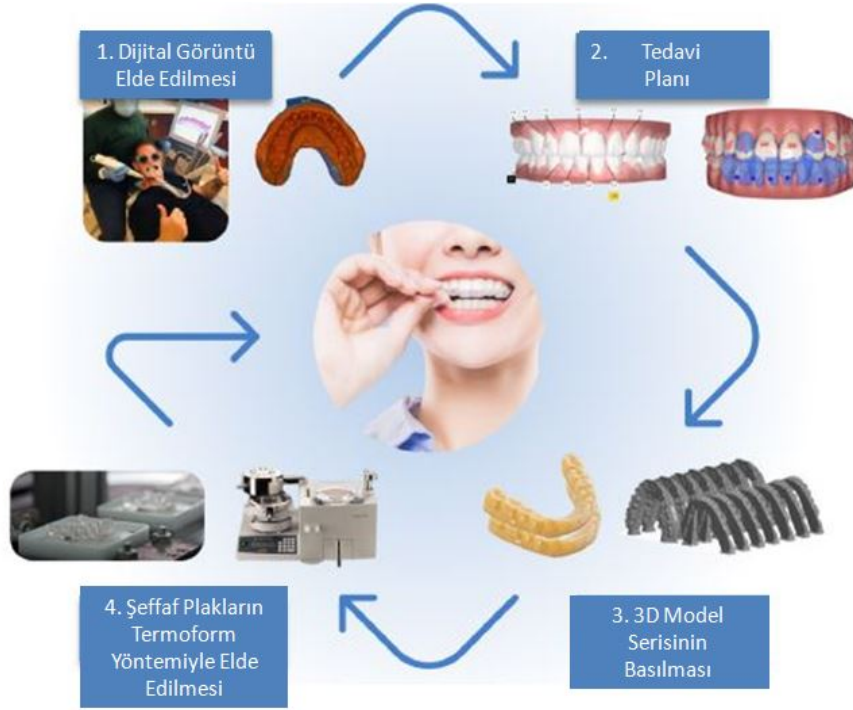
Ayrıca, termoplastik üretim sürecinde, oluşturulan üç boyutlu modeller için kullanılan yazdırılabilir reçinelerin enerji tüketimi, atık malzeme ve çevre kirliliği açısından çevresel etkileri günümüzde tam olarak bilinmemektedir [8]. Diş hekimliğinde, özellikle ortodontide, atık maddeler çözülmesi gereken temel problemlerden biridir. Mevcut tekniklerle üretilen fazla atık malzemenin önemli olumsuz çevresel etkileri bulunmaktadır. Bu soruna bir çözüm, üç boyutlu baskı teknolojisinin sürdürülebilirliğini artırmak için geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımını üç boyutlu yazıcılara dâhil etmek olabilir [9]. Şeffaf plak tedavisinde, tedavi planlarının oluşturulması, plak malzemesinin mekanik özellikleri, plak kalınlığı, aktivasyon miktarı ve yardımcı ataşmanların uygun şekilde seçilmesi gibi unsurların, tanının dikkatlice değerlendirilmesiyle bir araya getirilmesini gerektirir. Örneğin, bir şeffaf plağın kalınlığı, uyguladığı kuvvetin büyüklüğünü doğrudan etkiler; kalınlık arttıkça üretilen kuvvet de önemli ölçüde artar [10, 11]. Zamanla ideal diş hareketini sağlamak için uygun mekanik bir ortam oluşturulmasında apareyin kalınlığı dikkate alınmalıdır [12].

Literatür taramaları ve çeşitli üreticilerden elde edilen bilgilere göre, şeffaf plakların kalınlıkları genellikle 400 ila 1500 μm arasında değişmektedir. Isıl şekillendirme ile üretilen şeffaf plakların kalınlığı, kullanılan polimer filmlerin mevcut kalınlığına bağlı olup, bu kalınlık ark boyunca kontrol edilememektedir. Ancak, üç boyutlu baskı teknolojileri, özelleştirilmiş kalınlıklara sahip şeffaf plakların doğrudan üretimine ve ark boyunca kalınlığın değiştirilebilmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle, şeffaf plakların doğrudan üç boyutlu baskı ile üretilmesi, kalınlık gibi diş hareketini etkileyebilecek plak özelliklerinin kontrol edilmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır [10].

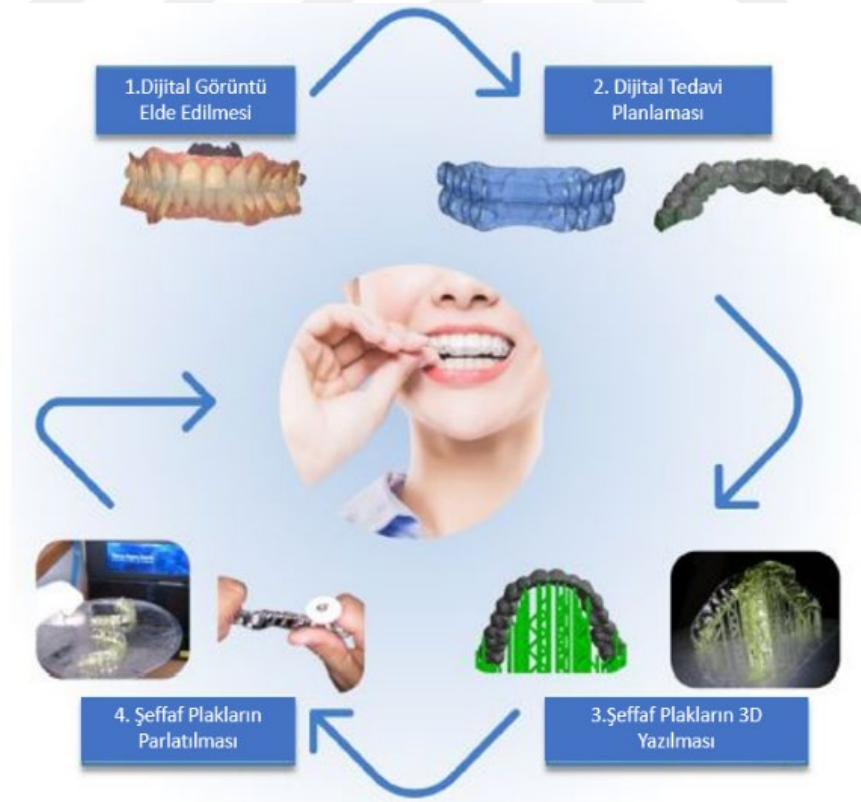
Şeffaf plak tedavi sistemi (ŞPTS), hekim tarafından bilgisayar destekli olarak planlanan ve her plakta bir miktar diş hareketi gerçekleştirerek tedavi etmeyi amaçlayan bir dizi plağın kullanılmasını içerir. Etkin bir tedavi için hekim bu plakların mümkün olduğunca çok takılmasını önerir. Tedavi de takma ve kullanım süresi büyük öneme sahip olmakla birlikte plakların üretimi için kullanılan materyallerin mekanik ve kimyasal özellikleri de klinik başarıyı etkilemektedir [1].

ŞPTS’de ilk olarak ağız içi tarama veya yüksek kaliteli polivinil siloksan ölçünün taranması ile dijital görüntü elde edilir. Daha sonra bilgisayar ortamında istenen diş hareketlerinin sanal olarak planlanması yapılır. Bu planlama kapsamında dişlere kompozit ataçman yerleştirilmesi, çeşitli basınç ve gerilim noktalarının oluşturulması için de özelleştirilmiş tasarım yapılır. Planlanan diş konumuna aşama aşama seri modellerin oluşturulması ile ulaşılır. Geleneksel yöntemde ilk olarak CAM (bilgisayar destekli üretim) teknolojisinin kullanılması ile seri 3D modeller basılarak üretilir. Üç boyutlu baskı şu anda ortodontik model üretimi için kullanılan ana teknolojidir. Elde edilen modeller üzerine daha sonra termoplastik olarak şekillendirilen şeffaf plaklar basılır. Basılan şeffaf plaklar tasarımda belirlenen şekilde kesilerek ve parlatılarak indirekt yöntemle şeffaf plak üretimi tamamlanır (**Şekil 1.1**). Seri dijital modellerin 3D baskı işlemi ve bunlar üzerine termoform işleminin uygulanarak şeffaf plak üretimi zaman alıcıdır, yoğun emek gerektirir ve maliyetlidir [13].

Foto-polimerizasyonla 3 boyutlu baskı üretimine fırsat veren berrak reçine, mekanik ve kimyasal özellikleri ile umut verici görünmektedir [9, 14]. Şekil 2’de görüldüğü gibi 3D doğrudan yazdırılan şeffaf plakların adım adım üretim sürecini özetlemektedir.



Şekil 1.1. Geleneksel indirekt yöntem



Şekil 1.2. Direkt yöntem

Şeffaf plakların üretiminde kullanılan malzemenin bileşimi plakların klinik performansını etkiler [15, 16]. İndirekt üretim tekniğinde uygulanan termoform işlemi kullanılan materyalin mekanik, boyutsal ve estetik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [7, 17, 18]. Direkt yöntem ile daha iyi geometrik doğruluk ve hassasiyet, daha iyi uyum, daha yüksek etkinlik, daha yüksek mekanik direnç ve tekrarlanabilirlik elde edilmektedir [9, 19]. Şeffaf plakların direkt üretimi için bazı materyaller önerilmiştir [19, 20]. Graphy firması tarafından sunulan Tera Harz TC-85 isimli polimer materyal kullanım için uygun özellikler göstermektedir. Bu materyalin en önemli özelliklerinden biri de şekil hafızasına sahip olmasıdır.

Şekil hafızalı malzemeler, uygun bir uyarının uygulanması üzerine makroskopik şekillerinde bir değişiklik gösterebilen akıllı malzemelerin bir alt kümesini oluşturur; bu geçici şekli kararlı bir şekilde korur ve başka bir uyarının yeniden uygulanmasıyla (ağız ısısı gibi) orijinal şekline geri döner [21, 22]. Termal uyarılara yanıt veren şekil hafızalı malzemelerdeki mekanizma, geçiş sıcaklığının altında ve üstünde polimer zincirlerinin aktive ve deaktive olması ile çalışır [23-25]. Geçiş sıcaklığına ulaşıldığında, deforme olmuş şekil hafızalı malzeme, orijinal şekline geri dönmek için elastik bir özellik gösterir ve bu şekil geri kazanımı, ortodontik diş hareketini sağlar [26]. Şekil hafızalı malzemeler düşük yoğunluk, önemli ölçüde elastik deformasyon ve yüksek kimyasal kararlılık gösterebilir ayrıca ayarlanabilir fiziksel özellikler gösterecek şekilde programlanabilir. Bu özellikler onları yeni bir şeffaf hizalayıcı malzeme olarak kullanılmaya çok uygun hale getirir ve sonuçta ortaya çıkan hizalayıcı, önemli oranda kendi şeklini geri kazanma potansiyeli sergiler [23, 26].

Direkt yöntem ile üretilen plakların şekil hafıza özelliğine sahip olması sayesinde ağız ısısı sıcaklığında ilk haline geri dönerek kullanıma bağlı oluşan deformasyonlar elimine edilmektedir. Kuvvet seviyesinde kaybın önüne geçilmesi ile diş hareketlerinin etkinliğini artırmakta ve tam olarak yapılmasına olanak sağlamaktadır [13].

Bu tez çalışmasının amacı hekim tarafından direkt ve indirekt yöntemlerle üretilen şeffaf plakların sabit ortodontik tedavi ile verimlilik, tedavi süresi ve beyaz nokta lezyonları açısından karşılaştırılmasıdır. Günümüzde yeni üretim teknolojisiyle elde

edilen bu şeffaf plakların, ısıyla şekillendirilmiş şeffaf plaklar ve sabit ortodontik tedavi ile verimlilik açısından karşılaştırılması, mevcut malzeme çeşitliliğinin artırılması ve bu yeni üretim tekniğinin klinik kullanıma uygunluğunun değerlendirilmesi bakımından önem taşımaktadır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ortodontide Üç Boyutlu Yazıcılar ve Üç Boyutlu Üretim

2.1.1. Dijital Diş Hekimliğinin Gelişimi

Üç boyutlu baskı teknolojisinin kökeni, Charles Hull'un 1984 yılında ilk üç boyutlu stereolitografi cihazını geliştirmesine kadar dayanmaktadır. O dönemde bu yenilikçi ve maliyetli teknoloji, öncelikle temel araştırmalar ve çalışmalar için kullanılmıştır. 1970 yılında Dr. Francois Duret ve Dr. Christian Termoz, bilgisayar destekli tasarım ve modelleme (CAD/CAM) kullanarak protez üretimi için ilk dental dijital iş akışını kurarak dijital diş hekimliğinin başlangıcını işaretlemişlerdir [27]. 21. yüzyılda, üç boyutlu baskı teknolojisi birkaç mikron hassasiyet sağlayacak şekilde gelişmiştir. Bu sayede, tıp alanında üç boyutlu baskı teknolojisinin kullanım alanları genişlemeye başlamıştır [28]. Doğruluğun büyük önem taşıdığı diş hekimliğinde, bu teknolojinin popülerlik kazanması kısa sürede gerçekleşmiştir. Üç boyutlu baskı teknolojisinde, farklı diş hekimliği firmaları, hızlanan teknolojik ilerlemelere ayak uydurma çabasıyla mevcut iş akışlarını tamamen dijital iş akışlarına dönüştürme fırsatı bulmuştur [29].

Ağız içi tarayıcıların tanıtılmasının ardından, üç boyutlu baskı teknolojisinin geliştirilmesiyle klinikteki geleneksel laboratuvar süreçlerinin yerine geçebilecek dijital iş akışı sistemleri gündeme gelmiştir. Günümüzde, diş hekimliğinin her alanında çeşitli dijital iş akışı yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Özellikle ortodonti alanında bu yaklaşım benimsenmiş olup, farklı ortodontik tedavi aşamalarında, sanal tedavi planlamalarında, kişiye özel apareylerde, retainer tasarım ve üretiminde ve şeffaf plakların üretiminde üç boyutlu baskıya dayalı dijital iş akışları kullanılmaktadır [30].

Üç boyutlu üretim, dijital veriler kullanılarak yapılan bir üretim tekniğidir. Bu süreç, iki temel kategoriye ayrılabilir: eksiltici ve eklemeli üretim. Eksiltici üretimde,

malzeme frezeleme yoluyla şekillendirilirken, eklemeli üretim karmaşık yapıların frezelenmesi zor olan kısımlarını oluşturmayı mümkün kılar. Üç boyutlu baskı cihazları ise genellikle malzeme püskürtme ve fotopolimerizasyon yöntemlerine dayanır [31].

2.1.2. Üç Boyutlu Yazıcıların Ortodontide Kullanımı

Biyo-uyumlu reçinelerin üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle kullanılabilir olması, ortodonti alanında birçok apareyin doğrudan üretilmesine imkân tanımıştır. Günümüzde, hareketli ve fonksiyonel apareyler sıklıkla akrilik veya biyo-uyumlu reçineler kullanılarak üç boyutlu yazıcılar ile oluşturulmaktadır [32]. Twin-block gibi hareketli fonksiyonel apareylerin yanı sıra, quad-helix aparey ve lingual ark gibi diğer apareyler de sanal ortamda üç boyutlu olarak tasarlanabilmekte ve üç boyutlu yazıcılar ile üretilmektedir [33]. Kişiye özel tasarlanan braketlerin üretimi, ortognatik cerrahi için hazırlanan splintler, indirekt bonding amacıyla yapılan transfer blokları, şeffaf plak tedavisi için kullanılan ortodontik ağız içi modellerin baskısı ve doğrudan üç boyutlu yazıcı ile üretilen şeffaf plaklar, üç boyutlu yazıcı teknolojisinin ortodonti alanında kullanımına örnek oluşturmaktadır [34-36]. Üç boyutlu baskı, kişiselleştirilmiş ve üç boyutlu yapılar oluşturmak amacıyla kullanılan esnek bir eklemeli üretim teknolojisidir. Üç boyutlu baskı yöntemleri arasında ekstrüzyonla üç boyutlu baskı, selektif lazer sinterleme (SLS), dijital ışık işleme (DLP) ve stereolitografi [37] bulunmaktadır. Ortodonti alanında üç boyutlu baskı ile üretimde kullanılan güncel malzemeler ise akrilonitril-bütadien-stiren (ABS) plastik, epoksi reçineler gibi stereolitografi malzemeleri, polilaktik asit, poliamid (naylon), cam dolgulu poliamid, gümüş, çelik, titanyum, fotopolimerler, mum ve polikarbonattır [38].

Erimiş filaman üretimi (FFF), seçici lazer sinterleme (SLS), stereolitografi aparatı [37] ve multijet füzyon gibi çeşitli üç boyutlu yazıcı teknolojileri bulunmakla birlikte, üç boyutlu yazıcılarla doğrudan üretilen şeffaf plaklarda, malzemelerin özel nitelikleri ve gereksinimleri açısından DLP ve SLA teknolojileri daha uygun görülmektedir [9].

2.2. Şeffaf Plakların Tanımı Ve Tarihçesi

1945 yılında Harold D. Kesling, hastaların diş dizilimlerinin mum modellemeleri kullanılarak üretilen kauçuk bazlı diş konumlandırıcılarının kullanımını ilk kez savunmuştur. Kesling, bu apareylerin yalnızca ortodontik tedavi gören vakaların detaylandırılmasına katkı sağlamadığını, aynı zamanda yanlış hizalanmış dişlerin ardışık olarak yeniden konumlandırılmasını mümkün kıldığını ortaya koymuştur. Bu yaklaşım, termoplastik materyallerle kayda değer ortodontik diş hareketlerinin gerçekleştirilebileceği fikrini barındırarak, günümüzün Bilgisayar Destekli Ortodonti (CAT) konseptlerinin temelini oluşturan ilkelerden birini teşkil etmiştir [4]. Kesling, o dönemde mevcut teknolojinin sınırlamalarını kabul etmekle birlikte, bir dizi plak kullanılarak daha kapsamlı diş hareketlerinin gerçekleştirilebileceğini öngörmüştür. Bu vizyonunu şu şekilde dile getirmiştir: “Tedavi ilerledikçe set-up üzerindeki dişleri kademeli olarak değiştirerek, bir dizi konumlandırıcı ile önemli diş hareketleri gerçekleştirilebilir. Şu anda bu tür bir tedavi pratik görünmemektedir. Ancak, gelecekte bu tekniğin uygulanabilir hale gelmesi olasıdır ve pratik kullanımı için gerekli teknikler geliştirilebilir”. Bu öngörü, modern şeffaf plak sistemlerinin temel prensiplerine yönelik öncü bir bakış açısını yansıtmaktadır [39].

1964 yılında Henry Nahoum, Kesling’in tekniğini daha da geliştirerek hastanın modeline sıkıca oturan bir vakum bazlı aparey tasarlamıştır. Bu yöntemde, alçı bir model oluşturularak, döndürülmüş ön dişler fissür frezi ile modelden ayrılır ve daha sonra mum yardımıyla model üzerinde istenilen pozisyona getirilerek yeniden düzenlenir. Bu düzenlenmiş model üzerine asetat, vinil, stiren, polietilen ve bütirat gibi çeşitli termoplastik malzemeler vakumla şekillendirilerek, diş hareketlerini sağlayacak bir dental kontur apareyi üretilir [40].

1971 yılında Ponitz, biyokril (polimetil metakrilat) malzemesini kullanarak “görünmez pekiştirici” olarak bilinen vakumla şekillendirilmiş şeffaf bir aparey geliştirmiştir. Selüloz asetat bütirat, poliüretan, polivinil asetat-polietilen polimeri, polikarbonat-sikolak ve lateks gibi bileşenlerden oluşan bu aparey, ortodontik tedavinin bitim ve pekiştirme aşamaları için hazırlanmıştır. Bu yöntem, önceden konumlandırılmış model üzerine baz plaka mumu kullanılarak uygulanmış ve özellikle dişlerin kuronlarının hafif devrilmesi gibi sınırlı diş hareketleri sağlamıştır.

Aynı zamanda, tedavi sonrası dişlerin pozisyonunu korumak için de pekiştirici olarak kullanılmıştır [41].

1985 yılında McNamara, Ponitz'in yöntemini geliştirerek, 1 mm kalınlığındaki Biocryl™ polimerleri ve Biostar vakum şekillendirme cihazını kullanarak görünmez pekiştiriciler üretmiştir. Bu yeni cihaz, termoplastik Biocryl™ malzemesini modele uyarlamak için vakum yerine pozitif hava basıncı kullanarak önceki vakum cihazlarından farklı bir yaklaşım sunmuştur. Ancak McNamara, bu şeffaf ve çıkarılabilir pekiştiricinin uzun vadeli dayanıklılığının geleneksel akrilik veya yapıştırılmalı pekiştiricilere kıyasla daha düşük olduğunu kabul etmiştir [42].

1993 yılında Jack Sheridan, şeffaf apareylerin üretim sürecini daha da geliştirerek, Raintree Products'tan temin edilen 0.030 inç kalınlığında termoplastik kopolyester levhalar ve polipropilen kullanmıştır. Sheridan, şeffaf apareyleri ön dişlerin hizalanmasını sağlamak amacıyla diş arası törpüleme (interproksimal diş azaltımı) tekniği ile birleştirerek, bu estetik yöntemi “Essix apareyi” olarak adlandırmıştır. McNamara'nın yaklaşımına benzer şekilde, termoform sürecinde pozitif hava basıncının kullanılmasını önererek, üretimden sonra levha kalınlığının yaklaşık yarı yarıya azalmasını sağlamıştır [43].

Tüm bu gelişmelere rağmen, bireysel şeffaf apareyler ile küçük diş hareketleri gerçekleştirme prensibi değişmeden kalmıştır. Aparey üretim süreci, ölçü alınması, model dökümü, dişlerin kesilerek istenilen hizaya göre yeniden düzenlenmesi ve bu işlemlerin her klinik randevuda tekrarlanmasını içeren oldukça zahmetli ve zaman alıcı bir süreçti. Bu zorluğa çözüm olarak, 1998 yılında Align Technology (Santa Clara, CA) tarafından Stanford mezunları Zia Chishti ve Kelsey Wirth tarafından geliştirilen Invisalign adlı şeffaf plak sistemi ortaya çıkmıştır. Invisalign, modern CAD/CAM teknolojisi kullanılarak şeffaf ve termoplastik polimerik malzemelerle üretilen ilk ortodontik aparey olarak kabul edilmektedir [44]. Bu sistem, birden fazla aşamadan oluşan bir süreç içermektedir. İlk olarak, hastanın diş dizilimi, ağız içi tarama veya çalışma modellerinin dijital taranması yoluyla üç boyutlu (3D) olarak yeniden oluşturulur. Ardından, her bir dişin kuron bölgesi bilgisayar algoritmaları yardımıyla segmentlere ayrılır ve yazılım kullanılarak, belirlenmiş küçük miktarlarda diş hareketlerini gösteren sıralı tedavi planları görsel olarak oluşturulur. Sonraki

aşamada, her bir diş hareketi aşamasına uygun fiziksel modeller, hızlı örnek modelleme yöntemi kullanılarak üretilir [6, 45]. Son olarak, özel olarak tasarlanan şeffaf plaklar termoform yöntemiyle şekillendirilir ve son haliyle düzenlenir.

2.2.1. Şeffaf Plaklar Jenerasyonları

Şeffaf plaklar, çeşitli maloklüzyonları daha estetik, konforlu ve etkili bir şekilde tedavi edebilmek amacıyla yıllar içinde birçok dönüşüm geçirmiştir. Bu dönüşümler, klinik verimliliğin artırılmasında önemli bir temsil niteliği taşımaktadır. Hennessy ve Al-Awadhi [46], Ganta [47], Moshiri [48] ve Wajekar [49] tarafından yapılan incelemelerde, şeffaf plakların gelişimi sekiz jenerasyon olarak özetlenmiş ve değerlendirilmiştir.

2.2.1.1. Birinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar

Şeffaf plak sistemlerinin ilk formları, yalnızca termoformlanmış plastik malzemelerin kullanımıyla istenilen sonuçları elde etmeye dayanıyordu ve plak sistemine herhangi bir yardımcı eleman entegre edilmemişti. Bu jenerasyona ait ilk vaka raporu, 2000 yılında hafif çapraşıklıkların ve aralık kapatma vakalarının tedavisinde birinci jenerasyon şeffaf plakların kullanımı üzerine yayımlanmıştır [50].

Eylül 2001'den önce Invisalign plaklarının üretiminde kullanılan malzeme, bir polimer karışımı olan Proceed30 (PC 30) markasıyla bilinmekteydi. Ancak bu malzeme, ortodontik diş hareketi için gereken fiziksel, kimyasal ve klinik özellikleri tam olarak karşılayamamaktaydı [51]. Bu nedenle, klinisyenler bu şeffaf plakların kullanımında çeşitli zorluklar ve sınırlamalarla karşılaşmıştır [52].

2.2.1.2. İkinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar

Şeffaf plak sistemlerindeki ilerlemelerle birlikte, planlanan diş hareketlerini daha iyi kontrol edebilmek için üreticiler plaklara ek bileşenler entegre etmeye başladı. Klinik uzmanlar, dişlere yapıştırılabilen kompozit butonlar ve inter-maksiller elastikler gibi yardımcı elemanları talep edebilir hale geldi. SmartForce™ ataşmanları, Power Ridge™, Velocity Optimization ve interproksimal diş azaltımı (IPR) gibi özellikler, şeffaf plak sistemlerinde standart hale gelmiştir [13].

Bu jenerasyonda, Exceed30 (EX30) adı verilen, poliüretan metilen difenil diizosiyanat 1.6-heksanediolden oluşan, tıbbi implant seviyesinde bir polimer

malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme, Amerika Birleşik Devletleri Farmakopesi Sınıf IV güvenlik ve biyouyumluluk testlerinden geçmiştir [53]. EX30 malzemesi, önceki PC30 malzemesine kıyasla 1.5 kat daha fazla esneklik ve 4 kat daha fazla adaptasyon sağlayarak, hastalar için plakların daha kolay takılıp çıkarılmasını mümkün kılmıştır [54].

2.2.1.3. Üçüncü Jenerasyon Şeffaf Plaklar

2010 yılında geliştirilen üçüncü jenerasyon şeffaf plaklar, SmartForce™ özelliklerini içermeye başladı. Bu özellikler arasında, ticari yazılımlar tarafından otomatik olarak tasarlanan ve yerleştirilen optimize edilmiş ataşmanlar ve poliüretan plastik üzerindeki girintiler yer alıyordu. Bu girintiler, kuron üzerinde belirli noktalara daha fazla baskı uygulayarak bir moment çifti ve kök torku (Power Ridge) oluştuyordu [13].

Ayrıca, klinisyenler, ihtiyaç duyulan bölgelerde diş hareketlerini iyileştirmek için derotasyon ve ekstrüzyon gibi işlemlerde kullanılabilecek hassas olmayan ataşmanları da reçete edebiliyordu. Sınıf II ve Sınıf III interark elastikleriyle uyum sağlamak için yeni kesim teknikleri de bu jenerasyonda tanıtılmıştır [13].

2.2.1.4. Dördüncü Jenerasyon Şeffaf Plaklar

2011 yılında, G4 ataşmanları açık kapanış vakalarında klinik sonuçları iyileştirmek amacıyla tanıtıldı. Bu jenerasyon, birden fazla dişte optimize edilmiş ekstrüzyon ataşmanlarıyla açık kapanış tedavisinde önemli bir ilerleme sağladı. Üst yan kesici dişlerin ekstrüzyonunu desteklemek için, rotasyon ve/veya kuron devrilmesi ile birleştirilmiş yeni çok düzlemlili hareket özellikleri de geliştirildi. Ayrıca, köpek dişleri ve santral kesici dişlerin daha iyi meziodistal kök kontrolü için optimize edilmiş kök kontrol ataşmanları bu jenerasyonun bir parçası olarak tanıtıldı [13].

2013 yılından itibaren EX30, yeni bir çok katmanlı aromatik termoplastik poliüretan/kopolimer malzeme olan SmartTrack™ (LD30) ile değiştirilmiştir. Bu yeni malzeme, daha nazik ve sürekli kuvvet uygulaması, uzun vadeli etkinlik ve geliştirilmiş adaptasyon gibi üstün performans özellikleri sunarak hastalar için kullanım kolaylığı sağlamaktadır. EX30 ile karşılaştırıldığında, LD30 daha tutarlı ortodontik kuvvet uygulaması, daha yüksek elastikiyet, kimyasal stabilite ve daha hassas ve konforlu bir plak uyumu sunmaktadır [55, 56].

2.2.1.5. Beşinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar

2013 yılının sonlarında, beşinci jenerasyon şeffaf plaklar, derin kapanış düzeltiminde öngörülebilirliği artırmak için çeşitli geliştirmelerle tanıtıldı. Bu yenilikler arasında, üst ve alt ön dişlerin lingual yüzeylerinde basınç alanlarının oluşturulması, üst kesici dişlerin lingual yüzeylerine yerleştirilen hassas ısırma rampaları ve küçük azı dişlerinde kullanılan yuvarlatılmış kubbe şeklindeki retansiyon ataşmanları yer alıyordu [13].

Bununla birlikte, Blundell ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, hassas ısırma rampalarının, SmartTrack™ malzemesinin EX30 malzemelerine kıyasla ısırma açıklığını daha öngörülebilir bir şekilde artırma kabiliyetini anlamlı derecede iyileştirmediği bulunmuştur [57].

2.2.1.6. Altıncı Jenerasyon Şeffaf Plaklar

2014 yılının sonlarında, birinci küçük azı dişi çekimlerinin ortodontik tedavisinde kullanılmak üzere altıncı jenerasyon yenilikler tanıtılmıştır. Yeni SmartStage™ teknolojisi ve SmartForce™ özellikleri, çekim tedavisinde maksimum ankraj sağlamak için diş hareketlerinin ilerlemesini optimize edecek şekilde dikey kontrol ve kök paralellliği sunmuştur [13].

2.2.1.7. Yedinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar

2016 yılında, diş hareketlerinin daha iyi kontrolünü sağlamak ve tedavi sonuçlarını iyileştirmek amacıyla özellikle ergen hastalar için Invisalign G7 özellikleri tanıtılmıştır. Bu jenerasyon, üst yan kesici dişlerin daha iyi kontrol edilmesi, kök kontrolünün iyileştirilmesi ve posterior açık kapanışların önlenmesine yönelik özellikler sunmayı hedeflemiştir [13].

2.2.1.8. Sekizinci Jenerasyon Şeffaf Plaklar

2020 yılının sonlarına doğru, sekizinci jenerasyon şeffaf plaklar tanıtılmıştır. Bu geliştirmeler, derin kapanış düzeltiminde öngörülebilirliği artırmayı hedeflemiştir. SmartForce™ ataşmanları ile ön diş intrüzyonunu destekleyen aktivasyon özellikleri ve ClinCheck sanal yazılımında Spee arkının düzeltilmesine yönelik iyileştirmeler bu jenerasyonun öne çıkan yenilikleri arasındadır. Ayrıca, posterior ark genişlemesi sırasında istenmeyen kuron devrilmesini en aza indirmek için optimize edilmiş

genişleme desteği ve rotasyon ataşmanları geliştirilmiş, bukkal kuron devrilmesi potansiyelinin azaltılması sağlanmıştır [13, 48].

2.3. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Çalışma Prensibi

Son yıllarda ağız içi tarama ve CAD/CAM teknolojilerindeki ilerlemeler, şeffaf plaklarla ortodontik tedavi tekniklerinin hızla gelişmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde birçok firma, bu yenilikçi teknolojiyi küresel ölçekte diş hekimleri ve ortodontistlerin kullanımına sunmaktadır. Şeffaf plaklarla diş hizalaması, ardışık olarak kullanılan, şeffaf termoplastik malzemeden üretilmiş plaklar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Her bir plak, yaklaşık iki haftalık sürelerle takılır ve tasarımı gereği diş başına 0,2 mm'lik bir translasyon veya 1°'lik bir rotasyon sağlayacak şekilde aşamalı düzeltmeler yapılır [44, 58]. Bu plaklar, dişlerin tüm yüzeylerini kapsadığı için mekanik etkinlikleri ve başarıları; dişlerin geometrik yapısına, kullanılan malzemenin fiziksel özelliklerine, plakların dişlere tam oturma durumuna ve uygulanan kuvvetlerin yönü ile miktarına bağlıdır [59].

2.4. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Avantaj Ve Dezavantajları

2.4.1. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Avantajları

- Şeffaf plaklar, dişlerde yalnızca hafif bir parlaklık oluşturarak estetik açıdan üstün bir görünüm sağlar. Bu durum, hastaların tedavi sürecine uyum ve işbirliği göstermelerinde önemli bir etkidir [60].
- Hastalar, plakları kolayca takıp çıkarabilir, bu da günlük yaşamlarında büyük bir kullanım kolaylığı sağlar [60].
- Şeffaf plaklarla yapılan tedavinin, sabit ortodontik mekaniklere kıyasla hem koltukta oturma süresi hem de toplam tedavi süresi açısından birçok vakada önemli avantajlar sağladığı belirtilmiştir [61].
- Tedavi sürecinde, hastaların plaklarını düzenli olarak kullanma ve kontrol etme oranlarının daha yüksek olduğu bildirilmiştir [62].
- Sabit ortodontik mekaniklerin neden olduğu ağız içi yaralanmalar, şeffaf plak tedavisinde oldukça düşük seviyede gerçekleşmektedir [62].

2.4.2. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Dezavantajları

- Tüm diş yüzeylerinin gün boyu neredeyse tamamen kaplanması, özellikle şekerli gıdaların tüketiminin ardından yumuşak madde birikimini artırabilir ve bu durum subkronik inflamasyona yol açabilir [62].
- Şeffaf plakların bitim sınırlarının tamamıyla pürüzsüz olmaması, marjinal diş etinde tahrişe neden olabilmektedir [62].
- Tedavi sonuçlarının başarısı, hastanın plakları düzenli ve önerildiği şekilde kullanmasına bağlıdır.
- İntermaksiller düzeltim, plakların dişler arasındaki kalınlığı nedeniyle sınırlı kalabilmektedir.
- Relaps riskinin, şeffaf plaklarla ortodontik tedavi gören hastalarda daha yüksek olduğu bildirilmiştir [63].
- Şeffaf plaklar tedavi başında belirlenen plana göre üretildiğinden, ara aşamalarda herhangi bir düzeltim veya değişiklik gerektiğinde yeni bir planlama ve üretim sürecine ihtiyaç duyulmaktadır [60].

2.5. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Endikasyon Ve Kontraendikasyonları

2.5.1. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Endikasyonları:

- Hafif ve orta dereceli çapraşıklıkların görüldüğü yer darlığı vakaları.
- Derin kapanış problemlerinde, anterior dişlerin intrüzyonunun hedeflendiği durumlar [64].
- Hafif ve orta derecedeki diastemaların bulunduğu vakalarda, boşlukların kapatılması.
- Posterior dişlerde intrüzyonun gerektiği durumların tedavisi.
- Ekspansiyon ihtiyacı olan daralmış arklarda.
- Relaps durumlarında, şeffaf plaklarla ortodontik tedaviden faydalanılabilmektedir [65].

- Kalıcı dişlerin tamamen sürdüğü yetişkinlerde veya ergenlerde kullanılması uygundur [66].

2.5.2. Şeffaf Plaklarla Ortodontik Tedavinin Kontraendikasyonları

- Şiddetli açık kapanış vakaları.
- Şiddetli rotasyonlu dişlerin mevcut olduğu durumlar.
- 45°'den fazla eğimli dişlerin düzeltilmesi gereken vakalar.
- 5 mm'den fazla çapraşıklık veya yer darlığının görüldüğü vakalar [64].
- 2 mm'den daha fazla antero-posterior iskeletsel uyumsuzlukların bulunduğu durumlar [66].
- Sentrik ilişki ve sentrik oklüzyon arasındaki uyumsuzluklar.
- Kısa kuronlu dişlerin plak tarafından tam olarak kavranamadığı durumlar.
- Oligodontinin görüldüğü vakalar.
- Şeffaf plaklarla yapılan ortodontik tedavilerde, dişlerin ekstrüzyon hareketinin sınırlı olduğu düşünülmektedir [64].

2.6. Şeffaf Plak Üretim Süreci

Şeffaf plakların ilk dönemlerde kullanılan manuel üretim yöntemleri artık ticari üretimde tercih edilmemektedir. Günümüzde ise dijital üretim süreci, CAD/CAM teknolojisi ve dijital iş akışı protokolüne dayanmaktadır [13]. Dijital görüntü elde etme süreci, ağız içi tarayıcı ile doğrudan görüntü alımı veya yüksek kaliteli polivinil siloksan (PVS) ölçülerinin dijital olarak tarandığı dolaylı bir yöntemle gerçekleştirilir. Elde edilen bu dijital görüntü, CAT ile planlanan diş hareketlerinin sanal olarak hazırlanması için temel bir çerçeve sağlar [67]. Sanal tedavi planlaması ve diş hareketlerinin düzenlenmesi CAD platformları kullanılarak yapılır. Bilgisayar algoritmaları, dijital 3D modeldeki her bir dişin klinik kuronunu ayrı parçalara ayırır. Ayrıca, bilgisayarlı tomografi (CT) tarama verilerinin eklenmesiyle diş kökleri de görselleştirilebilir. Dişler, istenilen nihai konumlarına ulaşacak şekilde ardışık hareketlerle yönlendirilir ve her tedavi aşamasına uygun diş konumlarını gösteren sıralı sanal modeller oluşturulur [67]. Sanal dizilim modellerinin her birinin 3D olarak basılması, CAM teknolojisi kullanılarak seri fiziksel modellerin üretilmesini

sağlar ve bu işlem, çıkarıcı ya da eklemeli üretim yöntemleri ile gerçekleştirilir. Günümüzde ortodontik model üretiminde en yaygın tercih edilen yöntem 3D baskıdır. Fiziksel modeller üzerinde şeffaf plaklar termoform tekniğiyle şekillendirilir, ardından kesme ve cilalama işlemleri yapılır. Dijital modellerin 3D baskı süreci ve termoform işlemi, maloklüzyon türü, plak değiştirme protokolü ve düzeltme sayısına bağlı olarak oldukça zaman alıcı, emek yoğun ve maliyetli olabilir. Ayrıca, şeffaf plak üretiminin çevreye getirdiği plastik yüküyle ilgili endişeler artmakta olup, çevresel etkilerinin araştırılması gerekmektedir [67]. Teknolojik ilerlemeler doğrultusunda, şeffaf plakların dijital tasarımlardan doğrudan 3D baskı ile üretilmesi bir sonraki önemli dönüşüm olarak öngörülmektedir [68, 69] Bu alanda, pekiştiricilerin doğrudan 3D baskı ile üretilmesine yönelik ilk yenilikçi girişim Nasef'e atfedilmiştir [70]. Ortodontide 3D baskı için kullanılan güncel malzemeler; akrilonitril-bütadiyen-stiren plastik, stereolitografi malzemeleri (epoksi reçineler), polilaktik asit, poliamid (nylon), cam dolgulu poliamid, gümüş, çelik, titanyum, fotopolimerler, balmumu ve polikarbonat gibi çeşitli materyalleri içermektedir. 3D baskı ile üretilen şeffaf plakların avantajları, yalnızca analog ölçüm, ağız içi tarama, 3D baskılı fiziksel model ve sonraki termoplastik işlemlerden kaynaklanan birikimli hataların azaltılmasıyla sınırlı kalmamaktadır [71]. 3D baskı teknolojisi, yalnızca doğruluğu artırmakla kalmaz; aynı zamanda tedarik zincirlerini kısaltarak maliyetleri azaltabilir ve daha az atık üreterek sürecin daha sürdürülebilir olmasını sağlayabilir [72]. Teorik olarak doğrudan 3D baskı, şeffaf plakların ark boyunca belirli bölgelerde farklı kalınlıklarda ve kişiye özel olarak üretilmesine imkân tanır. Plakların kalınlığı ve kullanılan malzeme, dişlere uygulanan kuvvetin miktarını ve plakların mekanik özelliklerini doğrudan etkiler [69]. Doğrudan şeffaf plak üretimi için füzyonlu filament üretimi (FFF), seçici lazer sinterleme (SLS) veya eriyik işleme (SLM), stereolitografi [37], çoklu jet fotopolimerleştirme, HP multiJet füzyon teknolojisi, sürekli sıvı arayüz üretim teknolojisi ve toz bağlayıcı baskı gibi farklı 3D baskı yöntemleri kullanılabilir [17]. Ancak, şeffaf reçinelerden fotopolimerizasyon ile yapılan 3D baskı, malzeme özelliklerinin gereksinimlerine daha uygun olduğu için umut vadeden bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem, doğrudan 3D baskılı şeffaf plakların üretim sürecini adım adım içerir [9, 14, 73].

2.7. Şeffaf Plaklarda Kullanılan Malzemeler

Şeffaf plakların üretiminde kullanılan malzemenin bileşimi, plakların klinik performansını doğrudan etkilemektedir [15, 16]. Bu bileşim, üretim yöntemine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir ve üretim süreçleri temelde iki kategoriye ayrılabilir: termoplastik malzemelerin fiziksel modeller üzerinde vakum termoform yöntemiyle şekillendirilmesi ve ara fiziksel model kullanmadan doğrudan 3D baskı yöntemi [14, 74]. Günümüzde, ticari ve klinik uygulamalarda, özellikle kurum içi plak üretiminde birinci yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır [75].

Öte yandan, doğrudan 3D baskı yöntemi için, şirketin web sitesine göre, Güney Kore'de Graphy firması tarafından üretilen ve Korea Food and Drug Administration (KFDA), Avrupa Komisyonu (EC) ve FDA tarafından onaylanan Tera Harz TC-85 dışında, biyouyumluluk, saydamlık ve uygun mekanik özellik standartlarını karşılayan başka bir ticari 3D baskı malzemesi şu anda bulunmamaktadır [68, 69, 71, 76].

2.7.1 Termoplastik Polimerler

Termoplastik polimerler, moleküler yapıları temelinde amorf ve yarı-kristalin polimerler olarak sınıflandırılabilir. Amorf polimerler, düzensiz moleküler yapılarıyla karakterize edilir ve düşük moleküler paketlenme yoğunluğuna sahiptir. Yarı-kristalin polimerler ise düzenli ve sıkı şekilde paketlenmiş zincir bölgeleri (kristalin alanlar) ile düzensiz alanları (amorf bölgeler) bir arada içerir. Termoplastik polimerlerde kristalin alanlar, malzemeye sertlik ve dayanıklılık kazandıran kompozit malzemelerdeki dolgu maddelerine benzetilebilir [13].

Genel olarak, amorf polimerler daha yumuşak, şeffaf, düşük büzülme oranına sahip ve darbe direnci yüksek malzemelerken, yarı-kristalin polimerler sert, opak veya yarı saydamdır, kimyasal dirençleri yüksektir ve keskin bir erime noktası sergilerler [74, 77, 78]. Ticari şeffaf plastik ortodontik plakların üretiminde en yaygın kullanılan polimerler arasında polyester, poliüretan veya kopoliester, polipropilen, polikarbonat, etilen vinil asetat ve polivinil klorür bulunmaktadır [15, 67, 78].

Şeffaf plak malzemeleri, tek katmanlı veya monofazik plastiklerden ikinci nesil poliüretan malzemelere ve günümüzde kullanılan, genellikle sert ve yumuşak katmanlardan oluşan üçüncü nesil çok katmanlı malzemelere evrilmiştir. Yumuşak

katman, elastik deformasyon özelliği sağlayarak plağın düzgün bir şekilde yerleşmesine olanak tanırken, sert katman dayanıklılık ve mukavemet sağlar [79].

Polyester grubunda yer alan polietilen tereftalat (PET) ve polietilen tereftalat glikol (PETG), şeffaf plak üretiminde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. PETG, PET'in kristalleşmeyen amorf bir kopolimeri olup, bu malzemeler üstün mekanik ve optik özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir [80]. Polietilen tereftalat (PET), etilen glikol ile tereftalik asidin birleşiminden oluşur ve hem amorf hem de kristalin formda bulunabilir. Malzemenin özellikleri, sahip olduğu form tipine bağlı olarak değişiklik gösterir [81]. PET, bant, film veya lif haline getirilebilir ve sıklıkla greftlerin yerine ya da vasküler protezlerin üretiminde kullanılmaktadır. PET'in amorf yapısı şeffaf ve yüksek süneklik sergilerken, kristalin yapısı opak, beyaz, sertlik, rijitlik ve iyi dayanıklılık özellikleri göstermektedir [82]. Ayrıca, PET, kullanılan işleme yöntemine bağlı olarak sert veya yarı sert bir yapıya sahip olabilir ve üstün mekanik özellikler, tokluk ve çeşitli çözücülere karşı yüksek direnç sergiler [47].

PETG, 1,4-sikloheksan dimetanol (CHDM), etilen glikol (EG) ve tereftalik asit (TPA) bileşenlerinden oluşan, kristalleşmeyen bir kopolimerdir [83]. PETG, mükemmel şeffaflık, yeterli akışkanlık ve çeşitli çözücülere karşı direnç gösterir ve zımbalanabilir, kalıplanabilir, baskı yapılabilir veya sıcak damgalanabilir. Bu malzeme, olağanüstü dayanıklılığı, yüksek darbe direnci ve kimyasal değişimlere karşı direnci ile öne çıkarak, karmaşık ve detaylı tasarımların üretimi için ideal bir malzeme haline gelmiştir.

PETG, PET'in yarı-kristalin yapısını amorf bir duruma dönüştüren bir formudur ve bu dönüşüm malzemeyi daha şeffaf ve estetik hale getirir. Malzemenin cam geçiş sıcaklığı (T_g) yaklaşık 80°C civarındadır, bu da malzemenin cam benzeri özelliklerle daha kolay işlenmesine olanak tanır [84]. Geliştirilmiş şeffaflık, mekanik ve optik özellikleri, PETG'yi şeffaf plak üretimi için uygun bir malzeme haline getirmektedir.

Termoplastik poliüretan (TPU), esas olarak di- ve tri-izosiyanatlar ile poliollerden oluşan son derece çok yönlü bir polimerdir [85]. TPU, mükemmel mekanik ve elastomerik özellikler, kimyasal ve aşınma direnci, yapışma özellikleri ve kolay işlenebilirlik gibi birçok olumlu özelliğe sahiptir [15, 86]. Yük uygulandığında, TPU şekil değiştirir ancak yük kaldırıldığında orijinal şekline geri dönebilir. Malzemenin

esnekliği, uzama ve tekrar toparlanma kabiliyeti sağlar. Ayrıca, TPU yüksek yırtılma direnci ve geniş bir dayanıklılık aralığı sergiler [83].

2013 yılında Invisalign plakları, tek katmanlı poliüretan malzeme Exceed-30 (EX30)'dan, çok katmanlı aromatik termoplastik poliüretan/kopolimer olan SmartTrack™ (LD30) malzemesine geçiş yapmıştır [1]. Aligntech'e göre, bu yeni malzeme plaklara daha fazla elastikiyet kazandırarak daha sabit kuvvetler üretmekte ve böylece klinik etkinliklerini artırmaktadır [16, 78]. Bununla birlikte, her iki malzeme de artan sertlik ve hiperplastisite ile sonuçlanan yapısal değişiklikler göstermektedir [51]. Peer Assessment Rating (PAR) skorundaki azalmaya göre klinik sonuçlar açısından her iki tip plak arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır [87].

2.7.2. Polimer Karışımları

Termoplastik ortodontik şeffaf plaklar, istenilen diş hareketlerini gerçekleştirmek için sürekli ve kontrollü kuvvetler uygulamalıdır [15]. Polimerlerin mekanik özellikleri, polyester, poliüretan ve polipropilen gibi farklı polimer türlerinin karıştırılmasıyla iyileştirilebilir. Bu üç polimerin karışımları, ticari şeffaf plak üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [15, 78]. Termoplastik polimer karışımları üzerine yapılan çeşitli çalışmalar, bu karışımların geliştirilmiş mekanik ve kimyasal özellikler sergilediğini ve sonuç olarak şeffaf plakların klinik performansını artırdığını göstermiştir [15, 88-92].

Polimerlerin karıştırılmasında kullanılan oran, karışımın özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Örneğin, PETG/polikarbonat (PC)/TPU'nun 70/10/20 oranında karıştırılması, diğer oranlarla karşılaştırıldığında daha iyi mekanik özellikler göstermiştir ve diğer ticari ürünlere göre yeterli ve sürdürülebilir ortodontik kuvvetler sergilediği görülmüştür [15]. Benzer şekilde, PETG/PC2858'in 70/30 oranında karıştırılması, çekme dayanımı, darbe dayanımı ve kopmada uzama açısından en iyi kombinasyonu sağlamıştır [91].

2.7.3. 3D Baskı ile Üretilen Şeffaf Plaklar

Mevcut şeffaf plakların üretim süreci, bir ölçümden veya doğrudan 3D ağız içi taramadan elde edilen bir modelden plak serilerinin üretilmesini içerir. Bu süreç zahmetli, iş gücü yoğun ve maliyetlidir [5, 6]. Ayrıca, şeffaf plakların üretiminde

kullanılan termoplastik sürecin, plak malzemesinin özellikleri üzerinde çeşitli olumsuz etkiler yaratabileceği gösterilmiştir [7, 17, 18].

Bu durum, geleneksel termoplastik plak üretim sürecine daha uygun bir alternatifin gerekliliğini ortaya çıkarmış ve bu gereksinim, uygun reçineler kullanılarak 3D doğrudan baskı yöntemiyle şeffaf plakların test edilmesi şeklinde karşılanmaya başlanmıştır [17].

Başka bir adıyla katmanlı üretim olarak bilinen 3D baskı, 1980'lerde ortaya atılmış ve günümüzde diş hekimliğinin birçok disiplinde çeşitli uygulama alanları bulmuştur. Bu teknoloji, diş hekimlerinin özel tasarım yapmasına ve protezler, ortodontik apareyler, maksillofasiyal protezler ve ortognatik cerrahi kılavuzlar gibi ürünleri basmasına olanak tanır [16]. Aşağıda cerrahi bir kılavuzun 3D baskı ile klinik uygulamasını göstermektedir (Şekil 1.3).



Şekil 2.1. Cerrahi bir kılavuzun 3D baskı ile klinik uygulaması

3D baskı, katman katman üretim yaparak, talaşlı imalat, kalıplama ve diğer çıkarıcı yöntemlere olan bağımlılığı ortadan kaldırır [93]. Termoform yöntemiyle şeffaf plak üretimi sırasında 3D baskı uygulamalarından biri, şeffaf plağın termoformlandığı diş modelinin 3D yazıcı ile üretilmesidir. Bu süreç, manuel ölçü alımıyla ilişkili geometrik hataların ve diğer yanlışlıkların azaltılmasını sağlamıştır [71]. Dijital

ölçümler ve 3D baskılı modellerin, manuel ölçüler ve alçı modellerden üstün olduğu kanıtlandığı gibi, doğrudan 3D baskı ile üretilen şeffaf plaklar, analog ölçümlerden ve ardından gelen termoplastik iş akışından kaynaklanan birikimli hataları ortadan kaldırılabılır [71]. Doğrudan 3D baskı, daha yüksek doğruluk, daha kısa tedarik zincirleri, önemli ölçüde daha kısa teslim süreleri ve daha düşük maliyetler sunma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, termoform sürecine göre çok daha az atık üreten daha sürdürülebilir bir yöntemdir [72].

3D baskılı plakların, termoform yöntemiyle üretilen şeffaf plaklara kıyasla daha iyi uyum doğruluğuna sahip olması beklenmektedir. Bunun nedeni, bazı çalışmaların termoform sürecinin malzeme özelliklerinde önemli değişikliklere neden olduğunu, bu durumun kuvveti, düzenli kalınlığı azalttığını ve plakların uyum doğruluğunu etkilediğini rapor etmesidir [5, 7, 9]. 3D baskılı retainerların doğruluğunu, geleneksel vakumla şekillendirilmiş ve ticari olarak temin edilebilen vakumla şekillendirilmiş retainerlarla karşılaştıran bir çalışmada, geleneksel vakumla şekillendirilmiş retainerların ortalama farklarının 0.10 ile 0.20 mm arasında değiştiği bulunmuştur. Ticari olarak temin edilebilen ve 3D baskılı retainerlarda bu aralık sırasıyla 0.10–0.30 mm ve 0.10–0.40 mm olarak ölçülmüştür. 3D baskılı retainerlar en büyük sapmayı göstermiş olmasına rağmen, bu sapmanın klinik olarak kabul edilebilir düzeyde olduğu belirtilmiştir [94]. Farklı 3D baskı teknolojilerindeki ilerlemelere rağmen, klinik kullanım için uygun malzemelerin eksikliği dikkat çekicidir. Buna bağlı olarak, bu tür baskılarda kullanılan malzemeler ve onların özellikleri hakkındaki literatür de sınırlıdır.

Jindal ve çalışma arkadaşları [71], Dental LT (Long Term) şeffaf reçineyi (FormLabs, Somerville, MA, ABD) kullanarak 0.75 mm kalınlığında bir şeffaf plak üretmeyi başarmış ve doğrudan baskılı plağın, Duran folyo kullanılarak üretilen geleneksel termoform şeffaf plaklara kıyasla geometrik olarak daha doğru olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, bu doğrudan baskılı plakların, düşük yer değiştirme değerleriyle elastik olarak deforme olabildiği ve maksimum yüke karşı daha yüksek direnç gösterdiği belirtilmiştir.

Yazarlar, LT şeffaf reçinenin insan çiğneme döngülerine eşdeğer doğrusal olmayan sıkıştırıcı kuvvetlere maruz kaldığında, mekanik stres açısından termoplastik

malzemelere benzer performans sergilediğini ve bu özelliği sayesinde klinik bir alternatif olarak uygun olduğunu bildirmiştir [71]. Dental LT reçine, kırılmaya karşı yüksek direnç gösteren ve fonksiyonel apareyler, gnatholojik splintler, ortodontik retainerlar gibi rijit doğrudan baskılı ortodontik apareylerin üretimi için ideal olan onaylı bir Sınıf IIa biyouyumlu malzemedir. Ancak, mevcut çalışmalar, Dental LT reçinenin ağız ortamında şeffaf plak malzemesi olarak performansını değerlendirmek için klinik veri sağlamamaktadır [19].

Şu anda çeşitli ön çalışmalarda, 3D baskılı şeffaf plakların farklı yönleri değerlendirilmekte ve bu konudaki araştırmalar devam etmektedir. Termoform yöntemiyle üretilmiş bir plaktaki kalınlık, uyguladığı kuvvetin büyüklüğünü etkileyerek optimal diş hareketi ve performansı sağlar. 3D baskı, şeffaf plakların kalınlığını ve dolayısıyla uygulanan kuvveti kontrol etmek için karmaşık bir yöntem sunmaktadır.

Edelmann ve çalışma arkadaşları, özellikle LT şeffaf reçinelerle çalışırken, tasarım dosyasına kıyasla genel plak kalınlığında bir artış bildirmiştir [69]. Çalışmada elde edilen sonuçlar, 3D baskı iş akışının şeffaf malzemeyle tasarlanan kalınlığı tam olarak gerçekleştiremediğini ve bunun plakların klinik kullanımı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini göstermiştir. Cole ve çalışma arkadaşları ise pilot çalışmalarında 3D baskılı retainer kalınlığını 0.75 mm olarak belirlemiş ve tam oturmayı sağlamak için 0.25 mm'lik bir ofset ayarlamıştır [94]. 3D baskılı plaklarda kalınlık artışını dengelemek için ideal miktarın, kullanılan malzemeler ve protokoller açısından farklılık gösterebileceği ve bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

3D baskılı plaklardaki boyutsal doğruluktaki sapmalar, istenmeyen diş hareketlerine neden olabilir. Plak ile dişler arasındaki uyumu etkileyen faktörlerden biri, baskı yönelimi ve baskı sonrası sertleşme süresidir. Jindal ve çalışma arkadaşları, baskı sonrası sertleşme koşullarının baskılı plakların mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiş ve zaman ile sıcaklığın, baskılı reçinenin sıkıştırma yüküne karşı direnci üzerinde son derece önemli olduğunu göstermiştir [71]. Doğru baskı sonrası sertleşme süreci, nihai 3D baskılı ürünün yeterli mukavemet ve biyouyumluluk sağlaması için gereklidir. Polimerin ekstra çapraz bağlanmasına

olanak tanıyan bu süreç, baskılı malzemenin mekanik özelliklerini nihai olarak geliştirir ve kalıntı gerilimi azaltır [13].

Eylül 2021'de, Güney Koreli üretici Graphy, şirketin kendi 3D baskı reçinesinden üretilen, dünyanın ilk doğrudan 3D baskı yöntemiyle üretilmiş şeffaf plaklarını tanıtmıştır. Şirketin iddialarına göre, bu plaklar, mevcut piyasada yalnızca Graphy tarafından sunulan bir şekil hafızası fonksiyonuyla donatılmıştır. Graphy, bu plakların herhangi bir 3D yazıcı ile üretilmediğini belirtmiştir. Doğrudan üretim süreci sayesinde baskı modellerine veya vakum form cihazlarına gerek kalmamakta, böylece zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca, bu üretim yöntemi, kesim işlemine gerek bırakmadığı için karbon emisyonlarını azaltmakta ve daha az atık oluşturarak çevreye katkıda bulunmaktadır [76].

Graphy plaklarının bir diğer avantajı, etkili dezenfeksiyon imkânı sunmasıdır. Şirket, şu açıklamada bulunmuştur: “Çoğu firma, plakların fırçalanmasını önermemektedir, çünkü plaklar çizildiğinde bakteriler bu çiziklere yerleşebilir ve bu durum, ek temizlik maddeleri kullanımını gerekli kılar.” Buna karşın, Graphy plaklarının fırçalanmasını önermektedir. Plakların, 100°C'ye kadar sıcaklıktaki su içerisinde 1-2 dakika boyunca kalabilmesi, dezenfeksiyona da katkı sağlamaktadır. Üreticinin iddiaları arasında, plakların diğer plakların genellikle zorlandığı bir performans olarak dişleri 35°'ye kadar döndürebilme yeteneği de bulunmaktadır [76].

Doğrudan 3D baskı şeffaf plak materyallerinin hızla ortaya çıkması ve ticari şeffaf plakların artan maliyetleri, diş hekimlerini klinik ortamda kendi bünyelerinde 3D baskı ile üretilen plaklara (3DPIN) yönlendirmiştir. 3DPIN plakları potansiyel olarak avantajlar sunmaktadır; ancak, piyasaya sürülen herhangi bir reçinenin, klinik ortamda 3D baskılı plakların pratik etkinliğini göstermek için kapsamlı bir şekilde test edilmesi gerekmektedir. Bu plakların özelleştirilebilir kalınlık ve butonlar oluşturmak için farklı süreçler kullanılmalı; ayrıca, materyalleri, kalınlıkları ve yardımcı elemanları açısından bu özelleştirilebilir plakların mekanik özellikleri parametrik modelleme ve sonlu eleman analizi gibi yöntemlerle araştırılmalıdır [95].

Can ve ark. [96], ortodontik 3DPIN plaklarının ağız içi yaşlanma sonrasında mekanik özelliklerindeki (Martens sertliği (HM), çökme modülü (EIT), elastik indeks (ηIT) ve çökme gevşemesi (RIT)) değişiklikleri araştırmaya çalışmış ve 1 haftalık kullanım

süresi sonrasında mekanik özelliklerin etkilenmediğini bulmuştur. Doğrudan baskılı şeffaf plaklara ilişkin mevcut literatür, bu sürecin teknik olarak mümkün olduğunu göstermektedir; ancak, bu amaçla pazarlanmış herhangi bir ticari olarak onaylanmış materyal bulunmamaktadır ve dolayısıyla bu plaklarla ilgili klinik çalışmalar mevcut literatürde henüz yayımlanmamıştır. Bu bağlamda, yeni teknolojilerin ve materyallerin test edilmesi için daha fazla in vitro ve in vivo çalışmaya ihtiyaç vardır. Baskı reçinelerinin sitotoksitesine özel önem gösterilmeli ve doğrudan şeffaf plakların klinik performansı, elde edilen verilerin termoform yöntemiyle üretilen plaklarla karşılaştırılması amacıyla değerlendirilmelidir [13].

2.8. Şeffaf Plak Malzemelerinin Özellikleri

Şeffaf ortodontik plakların üretiminde kullanılan termoplastik malzemeler, ağız boşluğunda farklı türdeki streslere değişken tepkiler veren polimerlerden oluşmaktadır. Bu stresler arasında, fonksiyonel ve parafonksiyonel hareketlerle ilişkilendirilen mekanik stres, plakların termoform süreci ve oral sıcaklık değişikliklerine maruz kalma ile ilişkili termal stres ve tükürük ile çeşitli içeceklerin tüketiminden kaynaklanan kimyasal stres bulunmaktadır [91, 97].

İdeal bir plak malzemesi, yüksek dayanıklılık, düşük sertlik, yeterli elastikiyet, çeşitli stres türlerine ve şekil bozulmalarına karşı yeterli direnç, mükemmel şeffaflık, düşük sitotoksite ve yüksek biyouyumluluk gibi özellikler sergilemelidir [91].

2.8.1. Mekanik Özellikler, Gerilme Gevşeme Fenomeni ve Şeffaf Plak Malzemelerinin Fiziksel Performansı

Termoplastik malzemeler, genellikle kısa süreli kuvvetlere maruz kaldıklarında Hooke Yasası'na uyar. Bu, gerilme-eğilme eğrisinin elastik sınırları içinde, gerilmenin deformasyona orantılı olduğu durumlarda, malzemenin elastik bir davranış sergilediği ve uygulanan gerilme kaldırıldığında orijinal boyut ve şekline geri döndüğü anlamına gelir [98].

Bir malzemenin akma mukavemeti, gerilmenin deformasyona artık orantılı olmadığı ve malzemenin elastik davranışını kaybederek plastik davranış sergilediği gerilme noktası olarak tanımlanabilir. Malzemenin kopma mukavemeti, malzemenin kopma noktasındaki gerilmeyi ifade eder. Malzemenin tokluğu ise kopmadan önce malzemenin absorbe ettiği enerji olarak tanımlanır ve gerilme-eğilme eğrisinin

altında kalan alan hesaplanarak belirlenir. Şeffaf plakların üretiminde, daha yüksek akma mukavemeti, daha yüksek çekme mukavemeti ve daha yüksek tokluk özelliklerine sahip termoplastik malzemeler tercih edilmektedir [13].

Elastiklik modülü veya Young modülü, bir malzemenin sertliğini ölçen bir parametredir ve gerilme ile buna karşılık gelen deformasyon arasındaki oran olarak tanımlanır. Bir şeffaf plak malzemesi, planlanan diş hareketlerini gerçekleştirmek için gereken kuvvetleri ve momentleri uygulayacak yeterli sertliğe sahip olmalıdır. Ancak, plak üretiminde kullanılan malzemenin elastiklik modülü çok yüksek (veya sertliği çok fazla) olursa, bu durum plakların hastalar tarafından takılması ve çıkarılması sırasında zorluklara yol açabilir. Benzer şekilde, düşük sertliğe sahip bir malzeme, dişlerin hareketi için gerekli kuvvetleri üretemez [98].

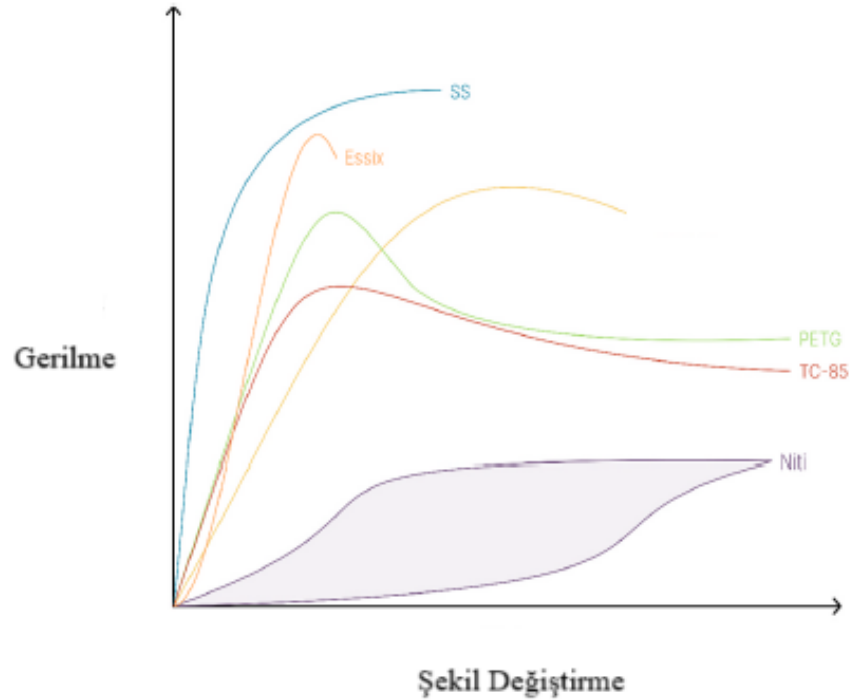
Küçük bir kuvvetle kolayca deforme olabilen bir malzeme, düşük dayanıklılığa sahip olarak tanımlanabilir. Dayanıklılık, bir malzemenin elastik olarak "yüklenmesi" veya deforme edilmesi sırasında enerji absorbe etme ve "yük boşaltıldığında" bu enerjiyi, malzemede kalıcı bir deformasyona neden olmadan serbest bırakma yeteneğidir. Dayanıklılık ölçütü, malzemenin belirli bir noktadan sonra kalıcı bir deformasyona uğramaya başladığı sınırdır. Yük boşaltma, bir malzemenin dişleri hareket ettirmek için uyguladığı kuvvetin ölçüsü olarak tanımlanabilir [99]. Şeffaf plaklar, orta ile yüksek yükler altında kalıcı olarak deforme oldukları için daha az enerji absorbe eder [100] ve metal ark tellerine kıyasla belirgin şekilde daha düşük dayanıklılık sergiler [11].

Klinik olarak, bir tek nikel-titanyum ark teli ile düzeltilebilecek diş çapraşıklığı, şeffaf plaklarla düzeltilmek için birden fazla plak gerektirir. Metal ark telleri, enerjiyi depolama (yükleme) ve bu enerjiyi zaman içinde dişlere aktarırken (boşaltma) minimal yorgunluk ile çalışmada oldukça etkilidir. Şekil 1.4, farklı ortodontik malzemelerin gerilme-eğilme eğrilerinin karşılaştırmasını göstermektedir [76, 98, 101, 102].

Termoplastik malzemeler uzun süreli kuvvetlere maruz kaldıklarında Hooke Yasası'na uymazlar ve bunun yerine, gerilme ile şekil değiştirme arasında zamana bağlı bir ilişki sergileyen 'viskoelastik' özellikler gösterirler [98]. Şeffaf plak malzemeleri doğası gereği 'viskoelastik' olup, özellikleri tamamen viskoz ve

tamamen elastik malzemeler arasındaki bir denge noktasını oluşturur. Viskoelastik malzemelerin davranışı, bir yüke maruz kaldıklarında, örneğin bir plağın dişlere ilk yerleştirildiği anda ve planlanan diş hareketleri başlamadan önce bile zamanla önemli ölçüde değişebilir [74]. Plakların absorbe ettiği az miktarda enerji, büyük ölçüde ısı olarak dağılır ve sadece küçük bir kısmı dişlere aktarılır. Viskoelastik malzemeler şokları, titreşimleri ve kuvvetleri absorbe edebilir [16]. Bu özellik, plağın dişlere yerleştirildiğinde deforme olmasına, gerilmesine ve programlanmış diş hareketleri için gerekli kuvvetleri üretmesine olanak tanır.

Viskoelastik malzemelerin deformasyonu, sabit yükler altında zamanla artarken, yük azaldığında sabit bir deformasyon meydana gelir ve bu olgu "gerilme gevşemesi" olarak adlandırılır [16]. Gerilme gevşemesi, şeffaf plak dişlere yerleştirildiğinde uygulanan kuvvetlerin azalmasına yol açar, diş hareketi başlamadan önce sabit bir deformasyon oranını korur. Bu gevşeme, plakların üretiminde kullanılan malzemenin özelliklerine ve uygulanan kuvvetin büyüklüğüne bağlıdır.



Şekil 2.2. Farklı ortodontik malzemelerin gerilme-eğilme eğrilerinin göreceli bir karşılaştırmasını gösteren bir illüstrasyon; mutlak değerleri yansıtmamaktadır. SS, paslanmaz çelik; Beta-Ti, beta titanyum; NiTi, nikel titanyum; Essix, şeffaf plak malzemesi; PETG, polietilen tereftalat glikol (termoplastik plak malzemesi); TC-85, fotopolimer reçine (3D baskılı plak malzemesi).

Gerilme gevşemesi, sabit bir deformasyon altında gerilmenin zamana bağlı olarak azalmasıdır ve şeffaf plakların etkinliğini belirlemede muhtemelen en önemli faktördür. Bu durum, malzemeye sabit bir deformasyon uygulayarak ve bunu sürdürmek için gereken yükü zamanla ölçerek gözlemlenebilir [103]. Gerilme gevşemesi, belirli bir süre boyunca uygulanan kuvvetin sabitliğinin bir ölçüsüdür [103]. Ortodontide sabit bir kuvvetin korunması arzu edilen bir durum olmasına rağmen [104], şeffaf plak malzemelerinin bu özelliği ideal bir şekilde sağlayamadığı görülmektedir. Şeffaf plaklarla gözlemlenen kuvvet azalması zamanla doğrusal değil, oldukça üstel bir şekilde gerçekleşir. Bu durum, plak kullanımının ilk birkaç saatinde dramatik bir kuvvet düşüşü yaşandığını ve bunun malzeme yorgunluğunu gösterdiğini ifade eder[16]. Karşılaştırıldığında, benzer veya daha yüksek gerilme seviyelerinde bir nikel-titanyum ark teli haftalar boyunca aktif kalabilir [105]. Bu kuvvet düşüşü, şeffaf plaklarla tedavi planlanırken dikkate alınması gereken önemli bir faktördür [106, 107].

Lombardo ve çalışma arkadaşları [16], dört farklı şeffaf plak malzemesinin mekanik özelliklerini ve gerilme gevşeme davranışlarını incelemiştir. Bu malzemeler arasında iki tek katmanlı (PETG ve poliüretan bazlı) ve iki çok katmanlı malzeme bulunmaktadır. Tüm numuneler, başlangıçta yapılan direnç testinin ardından, nemli bir ortamda ve sabit bir sıcaklıkta 24 saat boyunca sabit bir yüke maruz bırakılmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre, tek katmanlı malzemeler, mutlak gerilme ve gerilme gevşeme hızına karşı önemli bir direnç gösterirken; çok katmanlı malzemeler, sabit bir gerilme gevşemesi ve tek katmanlı malzemelere kıyasla dört kat daha düşük bir mutlak gerilme direnci sergilemiştir. Ayrıca, tüm malzemeler, ilk 8 saat içinde hızlı gerilmeye karşı önemli bir gevşeme göstermiş, bazı malzemelerde bu gevşeme bir plato oluşturmuş, diğerlerinde ise 24 saat sonunda azalmaya devam etmiştir [13].

Poliüretan bazlı tek katmanlı malzeme, daha yüksek başlangıç gerilme değerleri ve yüksek bir gerilme azalma oranı üretirken, PETG bazlı tek katmanlı malzeme, 24 saat boyunca en belirgin gerilme gevşeme oranını göstermiştir. Çok katmanlı malzemeler ise genellikle daha düşük gerilme gevşeme oranları ve tek katmanlı malzemelere kıyasla daha düşük başlangıç gerilme değerleri sergilemiştir [13].

Klinik durumlarda, şeffaf plaklar ağız boşluğunda hem kısa süreli hem de uzun süreli kuvvetlere maruz kalır. Plak dişlere yerleştirildiğinde, plak malzemesi ilk oturma sonrasında kısa süreli kuvvetlerle yüklenir. Öte yandan, plak hastanın ağızda uzun süre takıldığında, planlanan diş hareketiyle oluşan yer değiştirme ve kas-iskelet sistemi tarafından üretilen tepki kuvvetleri nedeniyle uzun süreli kuvvetlere maruz kalır [108].

Zamanla, şeffaf plak malzemesinin aynı deformasyon için ürettiği kuvvet, viskoelastik doğası nedeniyle azalır. Bu gerilme gevşemesi süreci, termoplastik malzemenin bileşimi, ağız boşluğunun sıcaklığı, plaktaki belirli bir bölgenin maruz kaldığı kuvvetin büyüklüğü ve plak üretiminde kullanılan malzemenin kalınlığı gibi faktörlerden etkilenir [97]. Ayrıca, plakların uyguladığı kuvvetler, insan dişlerinin biyolojik tolerans sınırları içinde olmalıdır. Bu gerilme değerleri, plak tabakasının kalınlığını seçmede de yol gösterici olabilir.

Polieter bileşiklerinin, poliüretan poliestere göre daha dayanıklı olduğu, daha yüksek nem direnci ve dinamik özellikler sergilediği bulunmuştur. Ayrıca düşük sıcaklıklarda daha iyi performans gösterirler. Öte yandan, polieter malzemeler daha düşük aşınma direncine sahiptir ve yırtılma olasılıkları daha yüksektir [10].

Belirtilen faktörler, şeffaf plakların kuvvet iletimi, büyüklüğü, sabitliği ve azalma oranı açısından temel özelliklerini anlamaya yönelik bir çerçeve sunmaktadır. Şeffaf plaklar, düşük kuvvet uygulamaları, daha az aktivasyonla daha iyi performans sergilemeleri, düşük esneklik göstermeleri ve hızlı kuvvet azalmasına uğramaları gibi özelliklere sahiptir [71].

2.8.2. Termal Özellikler ve Termoform Sürecinin Şeffaf Plak Davranışı Üzerindeki Etkisi

Termoplastik malzemeler, güçlü intramoleküler kovalent bağlara ve zayıf intermoleküler Van der Waal kuvvetlerine sahip doğrusal veya hafif dallanmış polimerlerdir. Bu bağlar yüksek sıcaklıklarda erir ve polimerler akışkan hale gelir, ardından soğutulduğunda moleküler zincirler yeni şekillerde katılaşır. Termoplastik malzemeler, değişen sıcaklıklarda kimyasal bir değişime uğramaz; bu nedenle, ısınma ile yumuşama ve soğuma ile sertleşme süreci tekrarlanabilir. Şeffaf plak yapımında kullanılan termoplastik malzemeler katı halde yarı kristalin yapıda olup,

polimerlerin amorf iplikçikleri arasına dağılmıştır. Kristalin polimerler, belirgin erime noktaları ve cam geçiş sıcaklıklarıyla daha şeffaf bir yapıya sahiptir [16]. Plak malzemesinin termoform süreci sırasında modellere uyum sağlama yeteneği, bir şeffaf plak malzemesi için önemli bir gerekliliktir. Yaklaşık 110 °C'lik tanımlı bir sıcaklıkta, poliüretan malzemelerin uyum sağlama kabiliyetinin diğer malzemelere göre üstün olduğu bulunmuştur [109, 110].

Çeşitli çalışmalar, şeffaf plak malzemelerinin şeffaflık, sertlik ve kalınlık özelliklerinde, şeffaf plak üretimi sırasında termoform sürecine maruz kaldıktan sonra değişiklikler olduğunu ortaya koymuştur [7, 18]. Ryu ve arkadaşları [7], termoform süreci öncesinde ve sonrasında plak malzemelerinin kalınlık ve şeffaflık özelliklerini inceleyerek, iki kopolyester esaslı (Essix A+ ve Essix ACE) ve iki PETG esaslı (Duran ve eCligner) olmak üzere dört farklı şeffaf plak malzemesindeki değişiklikleri değerlendirmiştir. Çalışmanın sonuçları, termoform işleminin termoplastik malzemelerin şeffaflığını azalttığını göstermiştir. Termoform sonrası, 0.5 ve 0.75 mm kalınlığındaki eCligner örneklerinin şeffaflığında, aynı kalınlıktaki Duran ve Essix A+ örneklerine kıyasla belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. 0.75 mm kalınlığındaki Essix ACE örneğinin şeffaflığı, aynı kalınlıktaki eCligner malzemesine göre önemli ölçüde azalmıştır. Benzer şekilde, Duran ve Essix A+ örneklerinin şeffaflığı da termoform işlemi sonrasında önemli ölçüde düşmüştür. Bununla birlikte, çalışmanın sonuçlarına göre, dört malzemenin tamamında sertlik değerleri, termoform öncesi değerlere kıyasla önemli bir değişiklik göstermemiştir. Termoform işlemi sonrası, Duran, Essix A+ ve Essix ACE örneklerinde, eCligner örneğinin aksine, sudaki çözünürlükte belirgin bir artış kaydedilmiştir. Ayrıca, termoform sonrası, Essix A+ ve Essix ACE örneklerinin sertliği, eCligner örneğinden daha düşük bulunmuştur. Son olarak, Essix A+ ve Essix ACE örnekleri, termoform süreci sonrasında daha yüksek yüzey sertliği göstermiştir [13].

Bucci ve çalışma arkadaşları [18] tarafından 2019 yılında yapılan bir diğer çalışma, 0.75 mm kalınlığında pasif ve aktif olmak üzere iki farklı PETG şeffaf plak malzemesini incelemiştir. Çalışma, termoform sürecinin şeffaf plakların kalınlığını değiştirdiğini ortaya koymuştur. Termoform işlemi sonrasında, şeffaf plaktaki oklüzal yüzey boyunca kalınlıklar 0.38 mm ile 0.69 mm arasında değişkenlik göstermiştir ve bu değerler, termoform öncesi PETG levhalarının 0.75 mm olan orijinal

kalınlığından daha düşük bulunmuştur. Ancak, yazarlar, kalınlıktaki bu değişkenliğin şeffaf plakların klinik performansını olumsuz yönde etkilemediğini belirtmiştir.

Dalaie ve çalışma arkadaşları [111] tarafından yapılan bir in vitro çalışmada, iki farklı kalınlığa sahip (1 mm ve 0.8 mm) PETG şeffaf plak levhalarının termoform işlemi sonrasında termomekanik özelliklerindeki değişiklikler incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, her iki malzeme türünde de termoform işlemi sonrası malzemenin sertliğinin yaklaşık %7.6 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

2.9. Amerikan Ortodonti Kurulu (ABO) İndeksleri

1929 yılında Dr. Albert H. Ketcham'ın liderliğinde kurulan Amerikan Ortodonti Kurulu (ABO), ortodonti alanında klinik yeterliliği belgelemek amacıyla sertifikasyon süreci yürütmektedir. Bu süreç kapsamında adaylardan yazılı ve klinik sınavlara katılmaları beklenmektedir.(111) ABO'nun sertifikasyon aşamalarından biri olan Faz III vaka değerlendirme sürecinde, vaka karmaşıklığını belirlemek için Uyumsuzluk İndeksi, tedavi sonuçlarını değerlendirmek için ise Objektif Derecelendirme Sistemi kullanılmaktadır.

2.9.1. Uyumsuzluk İndeksi (DI)

Amerikan Ortodonti Kurulu (ABO), Faz III klinik muayenesi kapsamında sunulan vakaların kabul edilebilirliğini ve vaka karmaşıklığını değerlendirmek için belirli kriterlere ihtiyaç duymuştur. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla ABO tarafından Uyumsuzluk İndeksi (DI) geliştirilmiştir. Uyumsuzluk İndeksi, tedavi öncesi ortodontik kayıtlardan elde edilen gözlemler ve ölçümler temelinde bir hastanın tedavi karmaşıklığını tanımlayan nesnel bir yöntemdir. Bu kayıtlar arasında modeller, sefalometrik radyografiler ve panoramik radyografiler yer alır. DI, 1998 yılında, sekiz ABO üyesi ve daha önce ABO'ya danışmanlık yapmış altı eski üyeden oluşan bir kurul tarafından tasarlanmıştır.

Uyumsuzluk İndeksini (DI) oluşturmak amacıyla seçilen bozukluk elemanları arasında overjet, overbite, anterior açık kapanış, lateral açık kapanış, diş çapraşıklığı, oklüzyon, lingual posterior çapraz kapanış, bukkal posterior çapraz kapanış, ANB açısı, IMPA ve SN-GoGn açısının ölçümleri yer almaktadır. Bunun yanı sıra, tedavi karmaşıklığını etkileyebilecek veya artırabilecek durumların değerlendirilmesine olanak tanıyan “diğer” olarak adlandırılan ek bir kategori de bulunmaktadır.

Ölçümler yapılırken model oklüzyonu, modellerin tabanlarının kapanış pozisyonunda bir araya getirilip düz bir yüzeye yerleştirilmesiyle belirlenir. Tüm ölçümler, bu oklüzal ilişki konumunda gerçekleştirilmelidir. Her bir ölçümün ayrıntılı açıklaması aşağıda sunulmaktadır [112].

Overjet, en önde yer alan maksiller kesici dişin lingual insizal kenarı ile en önde konumlanan mandibular kesici dişin labiyal insizal kenarı arasındaki mesafenin ölçülmesiyle puanlanır. Overjet ölçümleri şu şekilde değerlendirilir: 0 mm'lik bir overjet için 1 puan verilir; 1-3 mm aralığında bir overjet için puan verilmez; 3,1-5 mm aralığı 2 puan, 5,1-7 mm aralığı 3 puan, 7,1-9 mm aralığı 4 puan ve 9 mm'nin üzerindeki değerler için 5 puan verilir. Eğer negatif bir overjet (ön çapraz kapanış) mevcutsa, çapraz kapanışa sahip her ön diş için mm başına 1 puan verilir [112].

3 mm'ye kadar olan bir overbite için puan verilmez. Overbite ölçümleri 3,1-5 mm aralığında olduğunda 2 puan, 5,1-7 mm aralığında olduğunda ise 3 puan verilir. Eğer mandibular kesici dişler palatal dokuya temas ediyorsa (%100 overbite), bu durum için 5 puan verilir [112].

Anterior açık kapanış için, maksiller ve mandibular kesici dişler başbaşa ilişkideyse (overbite 0), 1 puan verilir. Kanin-kanin arası her maksiller diş için her bir milimetrelik açık kapanış (openbite) 2 puan olarak değerlendirilir. Ancak maksiller kaninler arkın dışında labialde konumlanmışsa puan verilmez [112].

Lateral açık kapanış durumunda, mandibular ark ile açık kapanış ilişkisine sahip olan her bir maksiller diş için (birinci premolardan üçüncü molara kadar), açık kapanışın her milimetresi başına 2 puan değerlendirilir [112].

Çapraşıklık değerlendirilirken, çapraşıklığın en belirgin olduğu ark seçilir ve bu doğrultuda puanlama yapılır. Çapraşıklık 0-3 mm arasında ise 1 puan, 3,1-5 mm arasında ise 2 puan, 5,1-7 mm arasında ise 4 puan, 7 mm'nin üzerinde ise 7 puan verilir.

Oklüzyon puanlamasında, Angle sınıflaması esas alınır. Maksiller birinci moların meziobukkal tüberkülü, mandibular birinci moların bukkal oluğu ile hizalı ya da bukkal oluğun ilerisinde, ancak meziobukkal tüberküle yakın bir konumdaysa puan verilmez. Eğer oklüzal ilişki Sınıf II veya Sınıf III'e yakın bir durumdaysa (tüberkül-tüberküle), ancak Sınıf II veya Sınıf III ilişkisinden daha az bir sapma gösteriyorsa,

her bir taraf için 2 puan değerlendirilir. İlişki tam olarak bir Sınıf II veya Sınıf III ise, taraf başına 4 puan puanlanır [112].

Lingual posterior çapraz kapanış değerlendirilirken, çapraz kapanışa sahip her bir maksiller diş için 1 puan verilir. Birinci premolardan üçüncü molara kadar tam bukkal çapraz kapanış durumunda, her bir maksiller diş 2 puan ile değerlendirilir [112].

ANB açısı $5,5^\circ$ 'nin üzerinde ya da $1,5^\circ$ 'nin altında ise 4 puan değerlendirilir. Belirtilen bu sınırların her bir derece aşılması durumunda ek olarak 1 puan daha eklenir.

SN-GoGn açısı 27° ile 37° arasında ise puanlama yapılmaz. Eğer açı 37° 'nin üzerindeyse, 37° 'yi aşan her bir derece için 2 puan eklenir. Açı 27° 'nin altındaysa, 27° 'nin altındaki her bir derece için 1 puan verilir.

IMPA açısı 98° 'nin üzerinde ise, bu değeri aşan her bir derece için 1 puan verilir [112].

- Aşağıdakilerin her biri için puan eklenir:
- Sürnümerer dişler: Her diş için 1 puan
- Ektopik erüpsiyon: Her diş için 2 puan
- Transpozisyon: 2 puan
- Diş boyut ve şekil anomalileri: Her diş için 2 puan
- Gömülü diş (3. molar hariç): Her diş için 2 puan
- Eksik diş (3. molar hariç): Her diş için 1 puan
- Konjenital eksik diş: Her diş için 2 puan
- Orta hat uyumsuzluğu: 3 mm ve üzeri uyumsuzluk için 2 puan
- Boşluklar: 2 mm'den büyük maksiller santral diastema için 2 puan
- Boşluklar: Her arkta 4 veya daha fazla sayıda, 0,5 mm'den büyük boşluk varsa 2 puan
- İskeletsel asimetri: Cerrahisiz tedavi edilecek vakalar için 3 puan
- Potansiyel tedavi zorlukları: Her biri için 2 puan

Tedavi zorlukları örnekleri:

- Bolton uyumsuzluğu (3 mm veya üzeri)
- Şiddetli mine aşınmaları
- Çok sayıda kısalmış kök
- Derin Spee arkı
- Birden fazla dişte travma
- Periodontal problemler
- Şiddetli eğimli kökler
- Şiddetli bimaxiller protrüzyon
- Dudak-damak yarıkları
- Kraniyofasiyal dismorfolojiler

Puanlanan her “Diğer” koşulu puanlama sayfasında belirtilmelidir [112].

THE AMERICAN BOARD OF ORTHODONTICS DISCREPANCY INDEX			
CASE CATEGORY _____			
TOTAL D.I. SCORE _____			
CAST EVAL. SCORE _____			
OVERJET		OCCCLUSION	
0 mm. (edge to edge)	= 1 pt.	Class I to end on	= 0 pts.
1 – 3 mm.	= 0 pts.	End on Class II or III	= 2 pts. per side
3.1 – 5 mm.	= 2 pts.	Full Class II or III	= 4 pts. per side
5.1 – 7 mm.	= 3 pts.	Beyond Class II or III	= 1 pt. per mm. Additional
7.1 – 9 mm.	= 4 pts.		
> 9 mm.	= 5 pts.	Total	= _____
Negative OJ (x-bite) 1 pt. per mm. per tooth =			
Total	= _____		
OVERBITE		LINGUAL POSTERIOR X-BITE	
0 – 3 mm.	= 0 pts.	1 pt. per tooth	Total = _____
3.1 – 5 mm.	= 2 pts.		
5.1 – 7 mm.	= 3 pts.	BUCCAL POSTERIOR X-BITE	
Impinging (100%)	= 5 pts.	2 pts. per tooth	Total = _____
Total	= _____		
ANTERIOR OPENBITE		CEPHALOMETRICS	
0 mm. (edge to edge)	= 1 pt.	ANB > 5.5 or < -1.5	= 4 pts.
then 2 pts. per mm. per tooth		Each Additional Degree	= 1 pt.
Total	= _____	SN-GO-GN 27 deg. – 37 deg.	= 0 pts.
		SN-GO-GN > 37 deg.	= 2 pts. per degree
		SN-GO-GN < 27 deg.	= 1 pt. per degree
		IMPA > 98 deg.	= 1 pt. per degree
		Total	= _____
LATERAL OPENBITE		OTHER 2 Points	
2 pts. per mm. per tooth		(See instructions)	
Total	= _____	INDICATE PROBLEM _____	

CROWDING			
0 – 3 mm.	= 1 pt.		
3.1 – 5 mm.	= 2 pts.		
5.1 – 7 mm.	= 4 pts.		
> 7 mm.	= 7 pts.		
Total	= _____		

Şekil 2.3. DI formu [113].

Bulunan değerler DI formuna kaydedilir ve toplanarak bir skor elde edilir.

2.9.2. Objektif Derecelendirme Sistemi (OGS)

Amerikan Ortodonti Kurulu, tamamlanmış ortodontik tedavilerin sonuçlarının yeterliliğini değerlendirmek amacıyla, bitim modelleri ve panoramik radyografilerin incelendiği Objektif Derecelendirme Sistemi'ni (OGS) oluşturmuştur. Bu sistem, beş yıllık bir süreçte gerçekleştirilen bir dizi testin sonucunda geliştirilmiştir ve 1999 yılından bu yana kullanılmaktadır [114].

OGS (Ortodontik Tedavi Sonuçlarının Değerlendirilmesi Sistemi), aşağıdaki 8 kriterden oluşmaktadır: sıralanma, marjinal kenar uyumu, bukkolingual eğim,

overjet, oklüzal kontak, oklüzal ilişki, interproksimal kontaklar ve kök eğimi [114]. Bu kriterlerin çoğunda, dişlerin ideal son pozisyonlarını belirlemek için insizal kenarlar, merkezi oluklar, marjinal sırtlar ve tüberküller gibi tanımlayıcılar kullanılmaktadır. Sağlam ve sağlıklı dişlerde bu anatomik yapılar genellikle kolaylıkla belirlenebilir. Ancak, aşınmış veya restore edilmiş dişlerde bu işaretlerin tespit edilmesi zor olabilir ya da bu yapılar hiç mevcut olmayabilir [115].

OGS (Objective Grading System) ölçümü, tedavi sonu modelleri ve panoramik radyografiler üzerinde, ABO ölçüm cetveli ve OGS skor tablosu talimatları kullanılarak gerçekleştirilir [114]. Bu sistem, Amerikan Ortodontistler Birliği (ABO) sertifikası almak isteyen adaylar için sundukları vakaların kalitesinin, belirlenen standartları karşılayıp karşılamadığını değerlendirmelerine olanak tanır [116].

3. BİREYLER VE YÖNTEM

Çalışmamız Erciyes Üniversitesi Klinik Araştırmaları Etik Kurulu'ndan (KAEEK) 10.01.2024 tarihli ve 2024/43 numaralı kararı ile onaylanmıştır (Ek-1). Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'ndan (TİTCK) E-68869993-000-1399520 sayılı 2023-202 konulu onay alınmıştır (Ek-2). Ortodontik tedaviye başlamadan önce yapılacak işlemler hasta ve velisine ayrıntılarıyla anlatılmış, Erciyes Üniversitesi Etik Kurul Komisyon Başkanlığı tarafından onaylanan 'Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu' tüm hastalara ve hasta velisine okutularak, doldurulup imzalatılmıştır (Ek-3,4).

Araştırmamızda tedavi bitim kalitesini değerlendirmek amacıyla Objektif Derecelendirme Sistemi (Objective Grading System-OGS) kullanılmıştır. Tüm değerlendirmeler, tek bir araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. Olguların değerlendirilmesi için dental alçı modeller kullanılmıştır. Kök eğimlerini ölçmek amacıyla ise bitim panoramik radyografileri değerlendirilmiştir.

3.1. Bireyler

Bu tez çalışmasında hekim tarafından direkt ve indirekt yöntemlerle üretilen şeffaf plakların sabit ortodontik tedavi ile verimlilik, tedavi süresi, beyaz nokta lezyonları açısından karşılaştırılması ABO-OGS (American Board of Orthodontics- Objective Grading System) kullanılarak incelenmiştir. Prospektif randomize kontrollü klinik çalışmamız Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'na ortodontik tedavi amacıyla başvuran hastalardan oluşturulmuştur.

Çalışmada 3 farklı grup oluşturulmuştur:

Grup A-İn House Direkt Şeffaf Plak Grubu

Grup B-İn-House İndirekt Şeffaf Plak Grubu

Grup C-Sabit Ortodontik Tedavi

Gruplardaki hasta sayısı, G*Power (Ver. 3.1.9.7, Heinrich Heine University, Düsseldorf, Almanya) güç analiz programı kullanılarak, 2020 yılında The Angle Orthodontist dergisinde yayımlanan “Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions” başlıklı makaledeki [117] ortodontik tedavi başlangıcı ve bitişi arasındaki tedavi süresi verilerine dayandırılmıştır. Yapılan ANOVA: Repeated measures, between-factors test analizi sonucunda, $\alpha=0,05$, $d=1,12765$ ve %90 güç ile her grupta 12 hasta olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmamızda toplamda 36 hasta dâhil edilmiştir. Ancak tedavi sürecinde ortaya çıkan kooperasyon eksikliği nedeniyle Grup A'da iki hasta ve Grup B'de bir hasta çalışma kapsamından çıkarılmıştır. Bu nedenle, elde edilen veriler üzerinde bir post hoc güç analizi yapılarak gruplar arasındaki sonuçlar arasında anlamlı farkı belirlemek için uygun örneklem büyüklüğü hesaplandı. Post hoc güç analizi sonuçları, çalışmadan ayrılan hastalar dikkate alındığında $\alpha=0,05$, $d=1,12765$ ve %85 güç ile her grupta 10 hastanın yeterli olacağını gösterdi.

Çalışma protokolü Helsinki Bildirgesi'ndeki tüm düzenleme ve revizyonları içerecek şekilde tanımlanan prensiplere uygun olarak ortaya konulmuştur. Kullanılan verilere erişim sadece sorumlu araştırmacılar ile sınırlandırılmıştır. Hastalara ve velilere ‘Aydınlatılmış gönüllü onam formu’ hazırlanarak, uygulanacak ortodontik tedavi ve seyri, gerekli testler, uygulanacak işlemler sırasında ve sonrasında oluşabilecek komplikasyonlar ve takip süresi hakkında detaylı olarak bilgilendirilmiş, bir tez çalışma ekibine dâhil edildikleri ve istemedikleri durumlarda tedaviden vazgeçebilecekleri bildirilmiş ve tedavi öncesinde bu formu imzalamaları istenmiştir (Ek-4).

Çalışma kapsamına aldığımız bireylerin 10'una in-house olarak direkt üretilen Tera Harz TC-85 Graphy® (Graphy Inc., Seoul, Kore) şeffaf plakları, 11'ine in-house olarak indirekt üretilen Duran CA® Pro+, 0.75 x 120 mm (Scheu Dental, Iserlohn, Almanya) şeffaf plakları, 12'sine metal braketler (Roth 18, Dentaaurum, Ispringen, Germany) ile sabit ortodontik tedavi uygulanmıştır.

3.1.1. Çalışmaya Dâhil Edilme ve Hariç Tutulma Kriterleri

Hastaların çalışmaya dâhil edilme kriterleri aşağıdaki gibidir:

1. Ağızda süt dişlerinin bulunmaması, daimi dişlerin sürmüş olması,
2. Bireylerin çekimsiz ortodontik tedavi planının olması,
3. 12-30 yaş arasında olmaları,
4. Moderate çapraşıklığa sahip olmaları (3-6mm arası çapraşıklığa sahip bireyler),
5. İskeletsel Sınıf I olmaları (ANB: $2\pm 2^\circ$),
6. Herhangi bir baş ve yüz(kraniofasial) anomalilerinin bulunmaması,
7. Vertikal büyüme yönünün normal olması (Sn-GoGn: $32\pm 6^\circ$),
8. Konjenital diş eksikliği bulunmaması (yirmi yaş dişleri hariç),
9. Atipik formda diş olmaması,
10. Çekilmiş daimi diş olmaması,
11. Dişlerde çürük olmaması,
12. Ağız hijyenlerinin iyi seviyede olması,
13. Periodontal dokuların sağlıklı olması.

Bu hastalar çalışmadan hariç tutulmuştur:

1. Sistemik bir rahatsızlığa sahip olması,
2. Öncesinde sabit ortodontik tedavi görmüş olması,
3. Herhangi dental materyale karşı alerji hikâyesi,
4. Kserostomi geçmişi olan bireyler,

Geleneksel olarak ortodontik tedavi öncesi hastalardan dental modeller, ağız içi ve ağız dışı fotoğraflar, radyografik görüntüler ve klinik ölçüm kayıtları alınmaktadır. Çalışmamıza dâhil edilen hastalardan ise ayrıca ağız içi tarayıcı 3Shape (Trios®, Danimarka) kullanılarak alt ve üst çenenin taranması sonucu dijital modeller elde

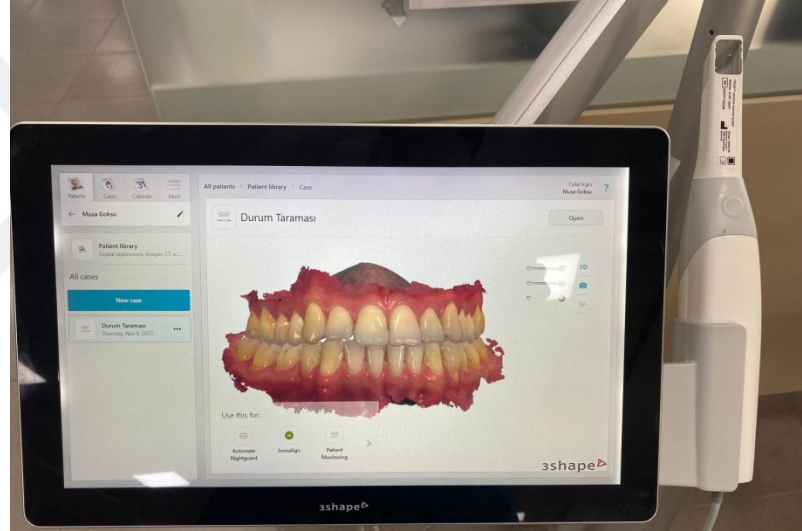
edilecektir. Bunun nedeni şeffaf plak üretimi için bu dijital modellerin kullanılacak olmasıdır.

3.2. Yöntem

İn House olarak üretilen 2 grupta da üretim aşamasına kadar yapılan tüm işlemler aynıdır. Her iki in-house şeffaf plak grubunda hastalara yapılan planlamalar tek bir araştırmacı tarafından benzer zamanlarda yapılmıştır.

3.2.1. Ağız İçi Tarama

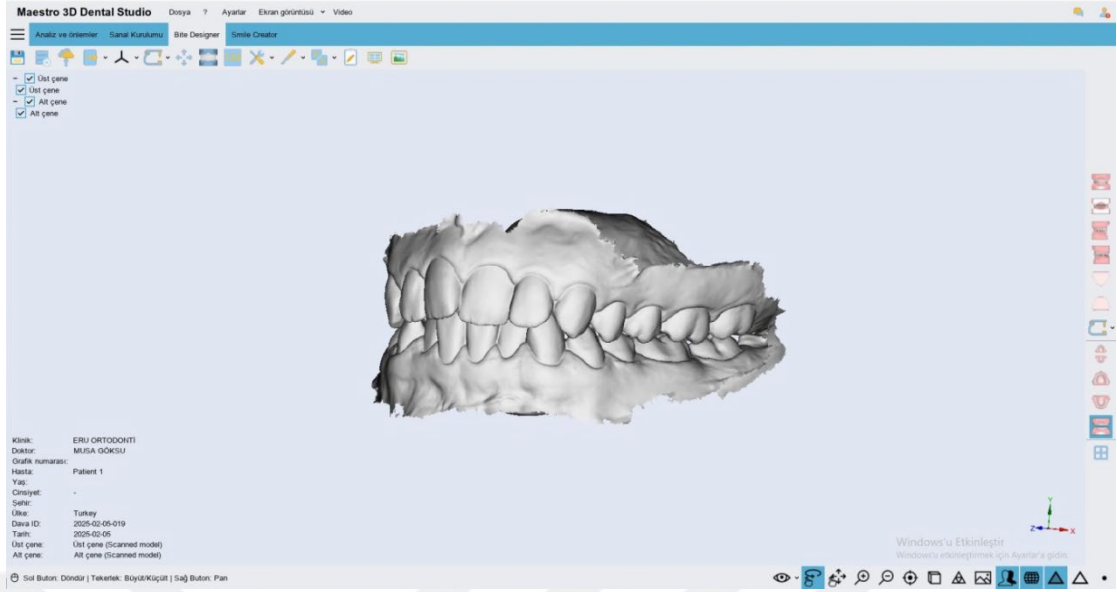
Tüm hastaların alt ve üst diş arklarının dijital kayıtları, 3Shape (Trios®, Danimarka) ağız içi tarayıcı kullanılarak alınmış ve elde edilen dental modeller stl formatında dijital olarak kaydedilmiştir (**Şekil 3.1**).



Şekil 3.1. 3Shape (Trios®, Danimarka) ağız içi tarayıcı

3.2.2. Dental Taramaların İçe Aktarılması

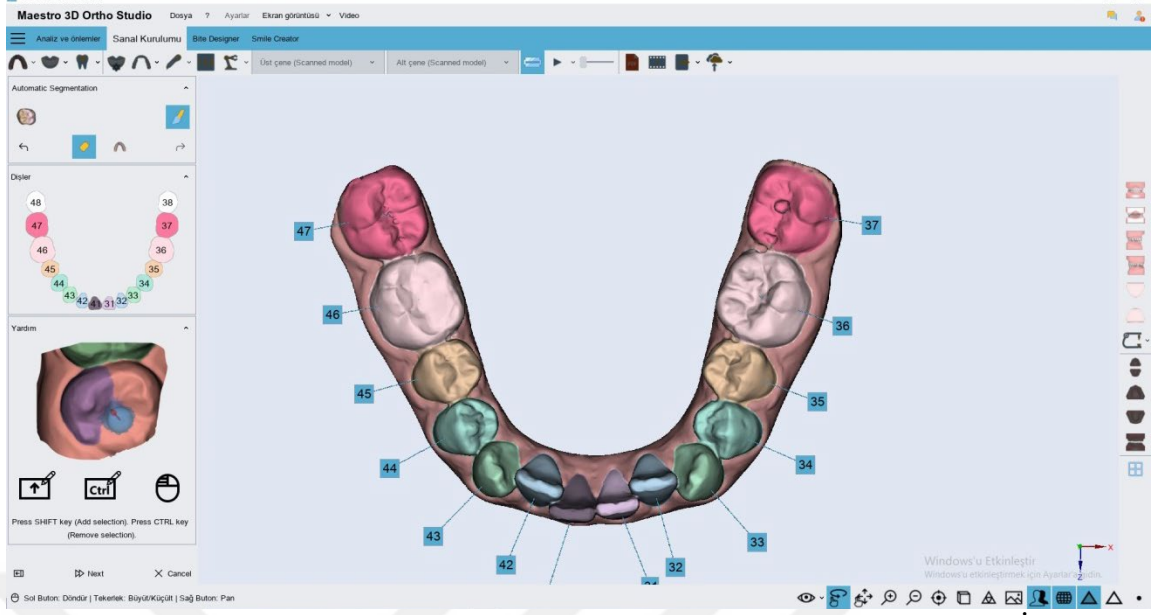
Dijital dental model stl formatında elde edildikten sonra Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımına aktarılmıştır (**Şekil 3.2**).



Şekil 3.2. Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımına aktarılan stl modeli.

3.2.3. Diş Numaralandırma ve Segmentasyon

Bu işlem, ilgili dişlerin etkinleştirilmesiyle başlar. Daha sonra Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımında otomatik segmentasyon yapılır. Yazılım, taşınacak dişleri farklı renklerle göstererek hesaplama yapar ve sonuçları sunar. Bu aşamada her bir dişin kontrol edilmesi kritik önem taşır. Yanlış bir segmentasyon tespit edilirse, operatör bu sorunu manuel olarak düzeltebilir (Şekil 3.3).

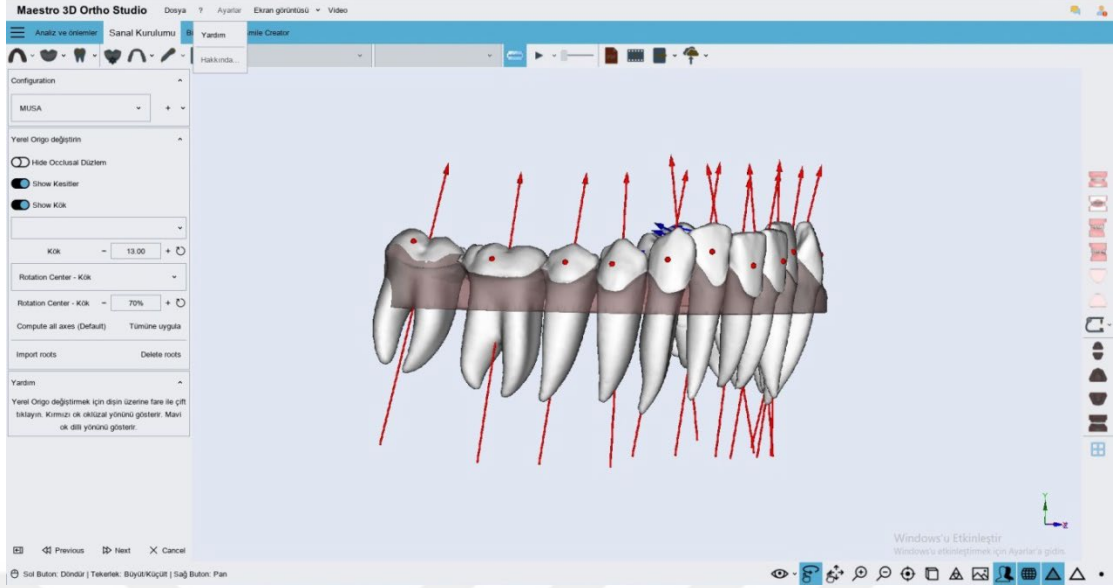


Şekil 3.3. Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımında yapılan segmentasyon işlemi.

3.2.4. Diş Referans Eksenlerinin Belirlenmesi

Bu adımda, dişlerin merkezi noktasını ayarlanmıştır. Her bir dişin merkezi noktası (kırmızı nokta), kurulum aşamasında tüm rotasyon ve translasyon ölçümleri için referans noktası olarak kullanılır. Yazılım, hesaplamalar yoluyla her bir dişin kökünün uzaydaki yaklaşık konumunu tanımlamaya çalışır.

Athanasiou ve Halazonetis'in iki farklı çalışmasında, ticari olarak kullanılan yazılımların dijital modellerdeki ön diş kök eğimini doğru bir şekilde tahmin edemediği gösterilmiştir [118]. Bu nedenle, gerekli olan dişlerde eksenler manuel olarak düzeltilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Dişlerin merkezi noktasının ve eksen eğimlerinin ayarlanması.

3.2.5. Sanal Kurulum

Bir sonraki adım, dental arkların sanal olarak kurulmasıdır. Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımında dişler ya diş manipülatörü kullanılarak ayrı ayrı hareket ettirilebilir ya da hareket miktarı ve açı değişimi sayısal olarak tanımlanarak taşınabilir. Eğer dişler sanal olarak alan yetersizliği olan bir bölgeye hareket ettirilirse, bu durumda IPR (Interproximal Reduction - Dişler arası azaltma) gerekli olacaktır. Yazılım, bu tür bir durumda dişin mezial ve/veya distal tarafında ihtiyaç duyulan alanı hesaplar ve görüntüler. İhtiyaç duyulan IPR miktarının, yazılım içinde uygun bir yere işaretlenmesi gereklidir.

CAT (Clear Aligner Therapy) tasarımıındaki en önemli bölümlerden biri, diş hareketlerini aşamalara ayırmaktır. Bu işlemi tek bir aşamada gerçekleştirmek hatalıdır. Yazılım, tedavinin verimli ve sorunsuz bir şekilde ilerlemesi için hangi dişlerin önce hareket ettirilmesi gerektiğini ayırt edemez [119].

Örneğin, maksiller molarları distalize ederek alan oluşturmak istiyorsak, hareketleri farklı aşamalara ayırmamız gerekir. İlk aşama, molarların hareket ettirilmesi olmalıdır. Daha sonra, ikinci bir aşama eklenerek, distalize edilmiş molarlar tarafından oluşturulan boşluğa çapraşık dişlerin taşınması gerçekleştirilmelidir. Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımında bu işlem, "Katman Ekle" düğmesi kullanılarak yapılabilir.

Diş hareketlerini doğru bir şekilde yönlendirmek için, bireysel diş hareketleri ve tüm diş hareketlerinin dikkatlice planlanması ve aşamalandırılması gereklidir. Aşamalar, bilgisayar ekranında görselleştirilebilir veya PDF formatında bir dosya olarak yazdırılabilir [119].

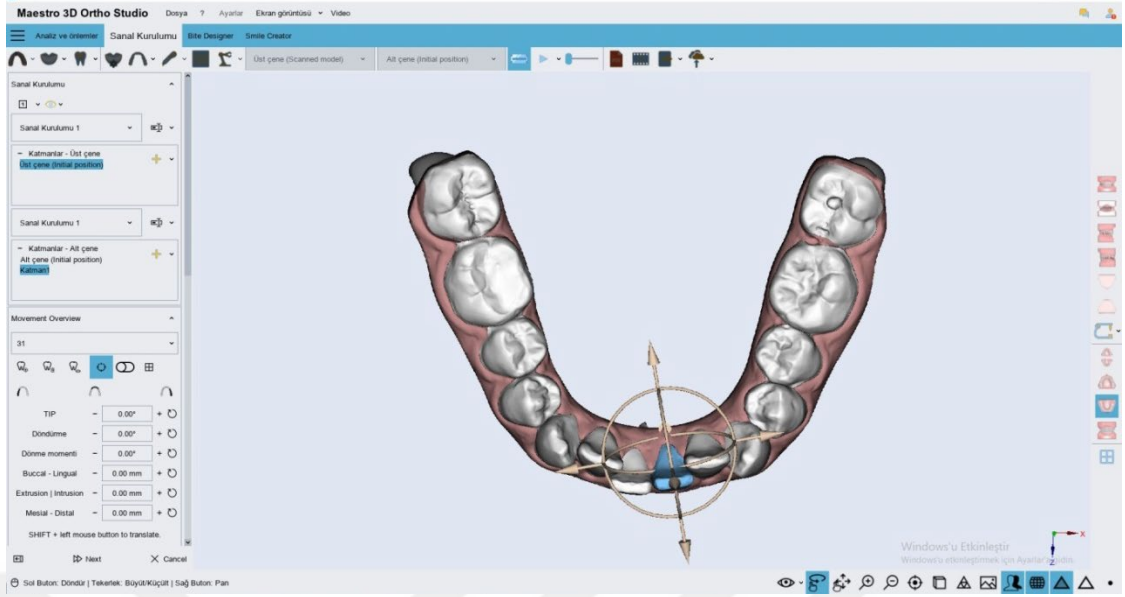
Kurulum süreci sırasında, bu hareketler için gerekli ataşmanlar yerleştirilmelidir. Yazılım kütüphanesi içinde eliptik, yarım küre gibi çeşitli ataşmanlar bulunur. Bu ataşmanların boyutları, hastanın ihtiyaçlarına göre kolayca ayarlanabilir. Ataşmanlar dişlerin üzerine veya dişlerin içine (negatif ataşman) yerleştirilebilir [119].

Ataşmanların, diş hareketi sırasında şeffaf plakları stabilize etmek için ankraj noktaları olarak stratejik bir şekilde kullanılması kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, şeffaf plak tedavisinin önemli bir avantajı, bir veya iki diş hareket ettirmek için tüm diğer dişleri ankraj olarak kullanabilme yeteneğidir [119].

Son aşama, yazdırılacak her bir sanal modele sıralı etiketleme eklenmesidir. Her bir plağın numarasını basılı olarak göstermek amacıyla, hareket ettirilmeyecek olan son moların bukkal yüzeyine numara yazılması faydalıdır. Bu işlem tamamlandıktan sonra, operatör tedavi için kaç adet plağa ihtiyaç duyulacağını görselleştirebilir [119].

Şeffaf plakların gerçekleştirebileceği maksimum hareket miktarı (doğrusal ya da açısal değişim), tüm vakalar için aynıdır. Bununla birlikte, yazılımın sağladığı bir tablo kullanılarak varsayılan değerler değiştirilebilir [119].

Maestro® 3d Ortho Studio (AGE Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımında dişler aşamalı bir şekilde hareket ettirilmiştir. (**Şekil 3.5**)



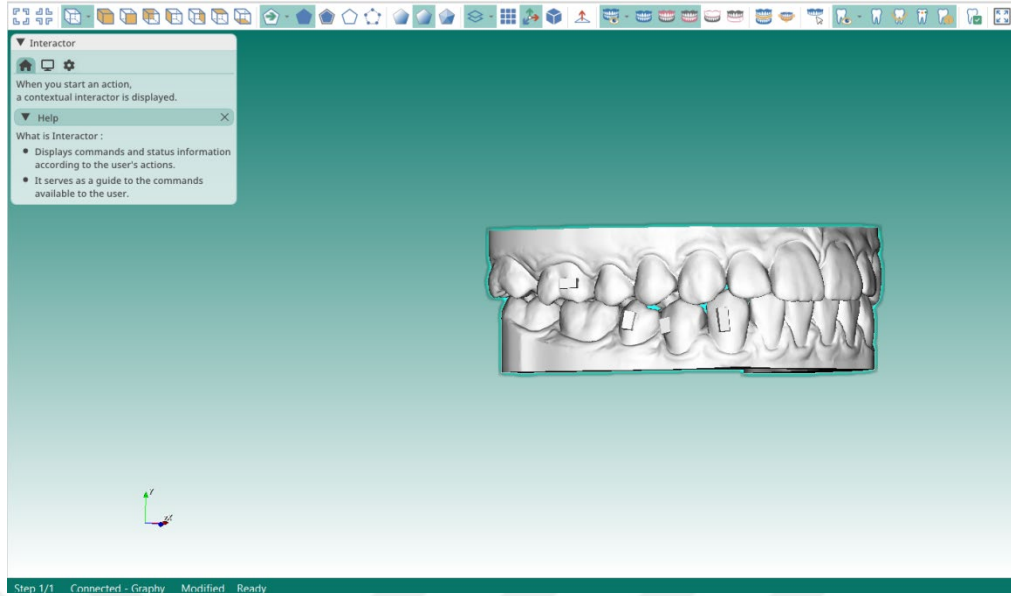
Şekil 3.5. Maestro® 3d Ortho Studio (Age Solutions®, Pontedera, İtalya) yazılımında dişlerin sanal kurulumu aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.6. Dosyaların Dışa Aktarılması ve Üretimi

Bu aşamada, ortodontistin şeffaf plakların doğrudan bir 3 boyutlu yazıcıda mı basılacağını yoksa plakların üretileceği dental modellerin mi yazdırılacağını tanımlaması gereklidir.

3.2.6.1. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plakların Dışa Aktarılması

Grup A-İn House Direkt Aligner grubunda direkt üretilen Tera Harz Graphy® (Graphy Inc., Seoul, Kore) şeffaf plakları üretici firmanın önerileri doğrultusunda Direct Aligner Designer yazılımına aktarılmıştır.(Şekil 3.6) Bu yazılım kullanılarak şeffaf plakların kabuk kısmı oluşturulmuş, hazırlanan dosyalar üretilmek için yazıcıya aktarılmıştır.



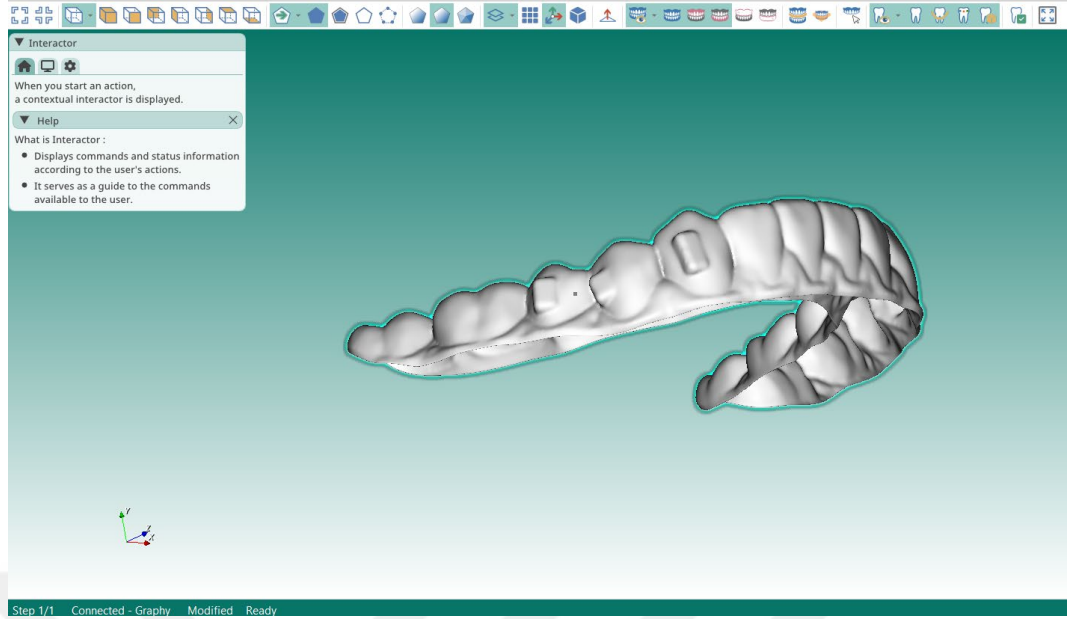
Şekil 3.6. Direct Aligner Designer yazılımına aktarılan modeller.

3.2.6.1.1. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plakların Tasarımı

Şeffaf plaklar, başlangıç modeline dayalı olarak Direct Aligner Designer yazılımı kullanılarak dijital ortamda tasarlanmaktadır. İlk plak, yazılım aracılığıyla oluşturulduktan sonra, yazılım diş hareket planlamalarına uygun şekilde diğer plakları otomatik olarak üretmektedir. Plak kalınlıkları, 0,25 mm ile 1,2 mm arasında değişkenlik gösterecek şekilde ayarlanabilmektedir. Başlangıçta plak kalınlıkları için 0,3–0,4 mm önerilirken, üretici firmanın talimatları doğrultusunda 7 günlük kullanım süresi için 0,5 mm, 14 günlük kullanım süresi için ise 0,7 mm kalınlık önerilmektedir.

Al Nadawi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, 7 günlük protokol ile 14 günlük protokol arasında klinik olarak benzer bir doğruluğun sağlanabildiği ve bu doğruluğun tedavi süresinin yarısı kadar bir zaman diliminde elde edildiği belirtilmiştir. Bu bulgu, 7 günlük protokolün kabul edilebilir bir tedavi yöntemi olarak değerlendirilmesini önermektedir [120].

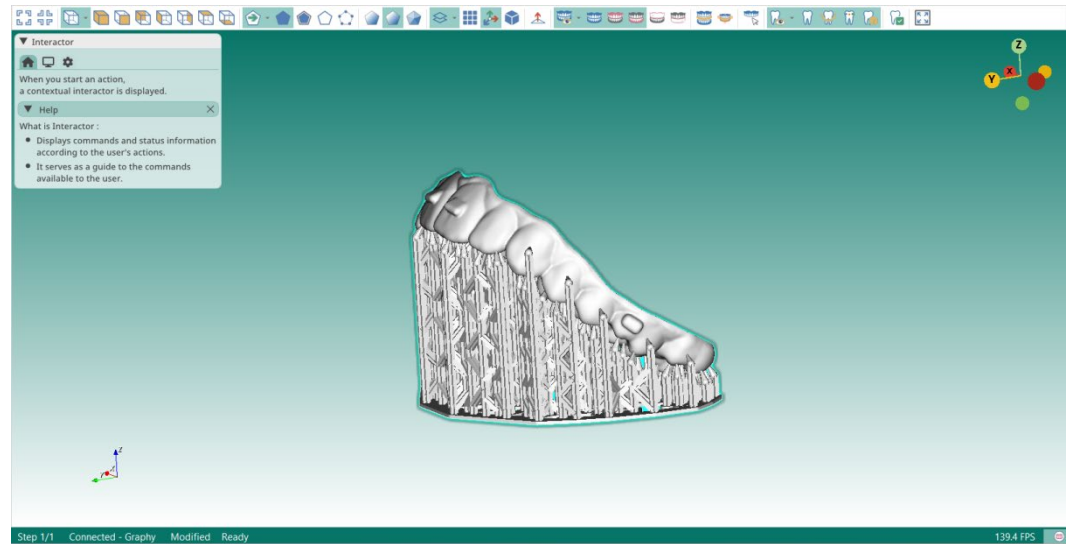
Bu tez çalışmasında, Grup A ve Grup B olarak ayrılmış iki şeffaf plak grubunda da plaklar 7 gün süreyle kullanılacak şekilde planlanmıştır. Güncel protokoller doğrultusunda, 7 günlük kullanım için önerilen 0,5 mm kalınlık, Grup A plaklarının tasarımında tercih edilmiştir (Şekil 3.7)



Şekil 3.7. Direct Aligner Designer yazılımında oluşturulmuş 0,5 mm kalınlığa sahip şeffaf plak kabuğu.

3.2.6.1.2. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plaklara Destek Eklenmesi

Şeffaf plakların başarılı bir şekilde yazdırılabilmesi için destek yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Destek yapılarının plak kabuklarına temas ederek belirli bir derinlikte nüfuz etmesi gerekmektedir. Direct Aligner Designer yazılımında destekler oluşturulmuştur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Direct Aligner Designer yazılımında oluşturulmuş destekler

3.2.6.1.3. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plakların Basılması

Katmanlı üretim, 3D nesnelerin oluşturulmasında kullanılan bir yöntemdir. Şeffaf plakların 3D yazdırılması, UV ışığı kullanılarak reçine katmanlarının sertleştirildiği VAT teknolojisi (Stereolitografi) ile gerçekleştirilir. Bu süreç, polimerizasyonu engelleyici bir madde olarak bilinen oksijen varlığında yürütülmektedir [121]. Bu tez çalışmasında Asiga Max UV 3D yazıcı kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Asiga Max UV yazıcı

3.2.6.1.4. Grup A-İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plaklardaki Fazla Reçinenin Giderilmesi ve Desteklerin Kaldırılması

Direkt üretilen şeffaf plakların temizlenmesi farklı bir yöntemle gerçekleştirilir. Yazdırılan plaklar, reçine kalıntılarının uzaklaştırılması için yaklaşık 6 dakika boyunca 600 rpm hızında bir santrifüj işlemine tabi tutulur. Bu işlem sırasında plakların iç yüzeyleri dışa bakacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir.

Santrifüj işleminin ardından, gerektiğinde manuel olarak reçine temizliği de yapılabilir. Bu adımlar, plakların yüzeyinde kalan fazla reçinenin tamamen giderilmesi ve yazdırma sürecinin başarılı bir şekilde tamamlanması açısından

önemlidir. Bu tez çalışmasında Tera Harz Spinner santrifüj cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Tera Harz Spinner santrifüj cihazı

Destek yapıları, ultraviyole (UV) kürleme işlemi öncesinde daha kolay bir şekilde çıkarılabilir. Ancak bu işlem, şeffaf plağın şeklinin bozulmasına neden olabileceği için dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Bu nedenle, destek yapılarının UV kürleme sonrasında çıkarılması da tercih edilebilir, ancak bu durumda yapılar daha zor çıkarılabilir [122].

3.2.6.1.5. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plaklarda UV Kürleme

UV kürleme, 3D yazdırma sürecinin en önemli aşamalarından biridir. 3D yazdırma, polimerizasyon yoluyla bir nesneye şeklini ve bazı özelliklerini kazandıran bir üretim yöntemidir. Bu süreç aynı zamanda nesnenin iç kısmında gerçekleşen UV kürlemeden de sorumludur. Ancak, başarılı bir 3D nesne yazdırmak için yalnızca 3D yazdırma işlemi yeterli değildir [122].

Günümüzde, farklı tasarım, kapasite ve ışık yoğunluğuna sahip çeşitli UV kürleme üniteleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında Otofash G171; NK-Optik (GmHb, Baierbrunn, Germany) cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza ek olarak bir azot jeneratörü

eklenmiştir. Graphy şirketinin önerisi doğrultusunda 20 dakika kürleme gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11).

Şirket, bu protokolün mekanik özellikler ve şeffaflık açısından önceki protokollerden çok daha iyi sonuçlar sağladığını iddia etmektedir. Ancak, bu iddiaların bilimsel araştırmalarla doğrulanması gerekmektedir [122].



Şekil 3.11. Otoflash G171; NK-Optik (GmHb, Baierbrunn, Germany) kürleme cihazı

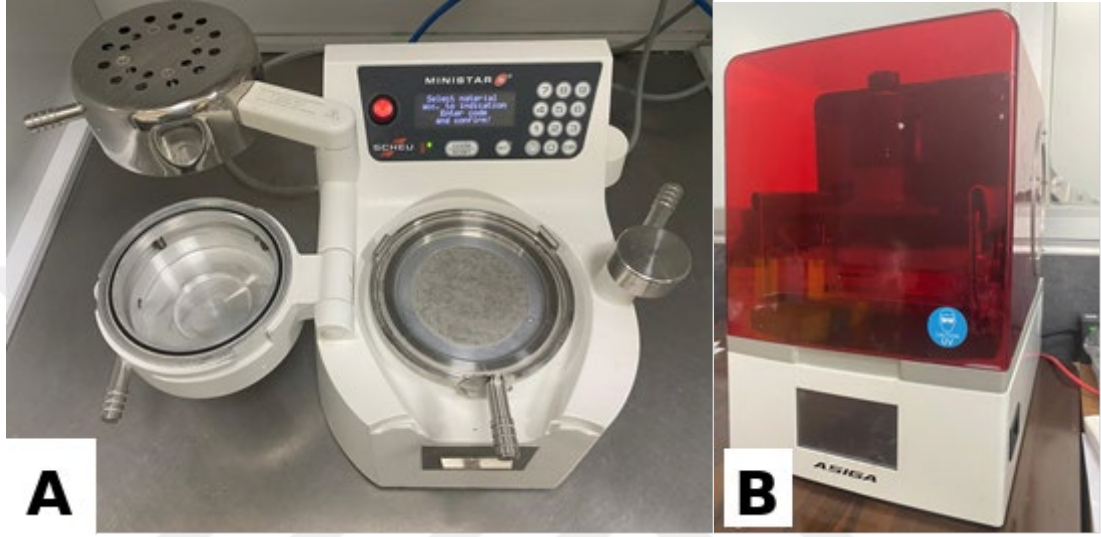
3.2.6.1.6. Grup A İn House Direkt Üretilen Şeffaf Plaklarda Polisaj İşlemi

Şeffaf plakların yüzeyinin daha pürüzsüz hale getirilmesi amacıyla döner el aleti fırçaları kullanılarak bir parlatma işlemi yapılabilir. Bu işlem sonrasında, yüzeye ince bir reçine tabakası uygulanabilir ve bu tabaka 2-3 dakika boyunca ek kürlemeye tabi tutulabilir. Ancak, bu işlem isteğe bağlıdır ve gerekli görülmediği durumlarda atlanabilir [122]. Bu tez çalışmasında üretilen şeffaf plaklara polisaj işlemi uygulanmıştır.

3.2.6.2. Grup B İn House İndirekt Şeffaf Plakların Dışa Aktarılması ve Model Üretimi

Model üretimi için gereken malzeme maliyetini ve süreyi azaltmak amacıyla, modellerin iç kısımlarının boşaltılması ve termoform işlemi sırasında yeterli dayanıklılığı sağlamak için 2 mm kalınlığında yüzeylere sahip olması sağlanmalıdır. Bu işlem, üretim sürecinin ilerleyen aşamalarında gerçekleştirilir. Söz konusu parametreler, tercih edilen 3D yazıcı ve termoform makinesi türüne bağlıdır.

Dışa aktarılan modeller, ardından 3D yazdırma yazılımına yüklenir. Bu tez çalışmasında Asiga Max UV 3D yazıcı ile Ministar basınçlı şekillendirme makinesi kullanılmıştır ve yukarıda belirtilen değerleri dikkate alarak modelleri dışa aktarılmış ve üretilmiştir. (Şekil 3.12)



Şekil 3.12. A) MINISTAR S® basınçlı şekillendirme makinesi B) Asiga Max UV 3D yazıcı

Baskı işleminin ardından dental model, %91 izopropil alkol kullanılarak temizlenir ve ardından baskı sonrası sertleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.6.2.1. Grup B İn House İndirekt Şeffaf Plak Modellerin Termoformlama İşlemi

Dental modelinin basılmasının ardından, şeffaf plak termoformlama işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem, çeşitli termoform plastik folyo türleriyle vakumlu veya pozitif basınçlı termoform makinelerinin kullanımını içerir.

Bu tez çalışmasında CA® Pro+, 0.75 x 120 mm (SCHEU-DENTAL, GmbH, Iserlohn,

Germany) şeffaf plak folyosu ve MINISTAR S® (SCHEU-DENTAL, GmbH, Iserlohn, Germany) basınçlı şekillendirme makinesi kullanılmıştır.

3.2.6.2.2. Grup B İn House İndirekt Şeffaf Plaklarının Kenar Şekillendirmesi

Şeffaf plaklar, ısıtıl şekillendirme ile şekillendirildikten sonra, yuvarlak termoform kalıbından kesilmiştir. Bu kesim işlemi, frez seti ve mikromotor kullanılarak ya da özel şeffaf plak kesme makasları ile gerçekleştirilmiştir.

Khosravi ve arkadaşları, şeffaf plak kesim protokolünü, kendi bünyesinde şeffaf plak üretiminde zaman kısıtlayıcı bir adım olarak tanımlamışlardır. Yazarlar, plakların disk veya sıcak bıçak ile kesildiği protokollerin zaman alıcı olduğunu ve saatte üretilen ünite sayısını sınırladığını belirtmişlerdir. Buna karşılık, düzgün bir makas kesimi, polisaj işlemini minimuma indirir ve bu işlem, hız kontrol seçeneklerine sahip orta sertlikte bir polisaj frezi ile donatılmış bir elektrikli laboratuvar el aletiyle tamamlanabilir [65].

3.2.7. Grup A ve Grup B Şeffaf Plakların Teslim Protokolü

İn house şeffaf plak sistemlerinde, plakların üretimi toplu üretime göre çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ancak, süreci sınırlayan ana faktör, ofis içi laboratuvarın plak üretim kapasitesidir. Dijital laboratuvarlarda kalibre edilmiş ve verimli protokollerin oluşturulması, günlük üretilen şeffaf plak birimlerinin sayısını önemli ölçüde artırabilir. Ancak, bir ofis içi laboratuvarın günlük üretim kapasitesinin doğal bir sınırı vardır [65].

İn house bir şeffaf plağın teslim protokolü, yeni bir hasta için plakların toplu üretim sistemine benzer şekilde üretilmesiyle başlar ve bu işlem aynı gün kadar hızlı bir şekilde tamamlanabilir. Tedaviye başlamak için genellikle 3-6 plak seti üretilir. Çoğu sağlayıcı, simüle edilmiş tedavi planının kalan plaklarını takip ziyaretleri sırasında teslim etmektedir. İn house üretilen şeffaf plak sağlayıcılarının çoğu, anekdotlara dayanarak her bir partide 8-10 şeffaf plak seti teslim etmeyi tercih etmektedir [65]. Bu teslim protokolünün uygulanmasının, in house laboratuvarların sınırlı üretim kapasitesinin bir sonucu ya da bu plakların etkinliği konusundaki güvensizlikten kaynaklandığı vurgulanmalıdır [65].

Sonuç olarak, in house şeffaf plak teslim protokolü, ofis içi laboratuvarın plak üretim kapasitesine, sağlayıcının şeffaf plak tedavisindeki deneyimine ve genel randevu planlama sistemine bağlı olarak şekillenir [65]. Bu tez çalışmasında Grup A ve Grup

B şeffaf plak gruplarındaki hastalara ziyaretlerinde 4 plak teslim edilmiş ve 4 hafta aralıklarla kontrol randevularına çağırılmıştır.

3.2.8. Grup C Sabit Ortodontik Tedavi Grubu Hastalara Ortodontik Apareylerin Uygulanması

Sabit ortodontik tedavi gören hastalara metal braketleri (AO Mini Master Roth 018, Altenhofstrasse 80, 66386 St. Ingbert, Germany) alt ve üst diş arklarına uygulanmıştır. Hastaların kontrol randevuları diğer iki şeffaf plak grubunda olduğu gibi 4 hafta aralıklarla gerçekleştirilmiştir.

3.2.9. Çalışmada Değerlendirme için Alınan Kayıtlar ve Kayıtların Analizi

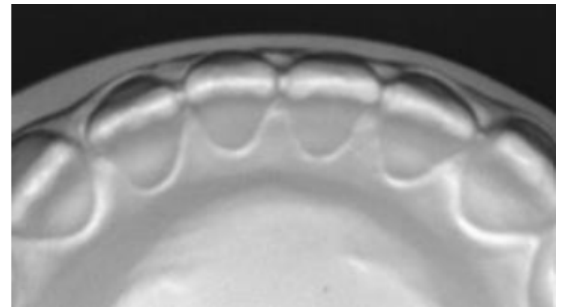
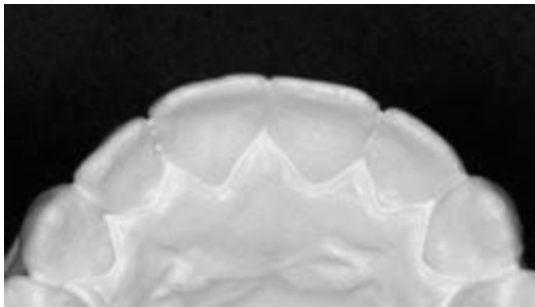
Çalışmamıza dâhil edilen tüm hastalardan tedavi başında ve tedavi sonunda dental alçı modeller, ağız içi tarama görüntüleri, ağız dışı ve ağız içi fotoğraflar, röntgen kayıtları (panoramik ve sefalometrik röntgenler), kantitatif ışık kaynaklı florans (QLF) kayıtları alınmıştır. Şeffaf plak tedavi gruplarında sonrasında revizyon işlemi gerektiğinde yeniden ağız içi tarama görüntüleri, ağız dışı ve ağız içi fotoğraflar elde edilmiştir. Hastaların toplam tedavi süresi kaydedilmiştir.

3.2.9.1. Objektif Derecelendirme Sistemi (OGS) Ölçüm Yöntemi

Değerlendirmeler Casco ve arkadaşlarının yayınladığı makale rehberliğinde yapılmıştır [114].

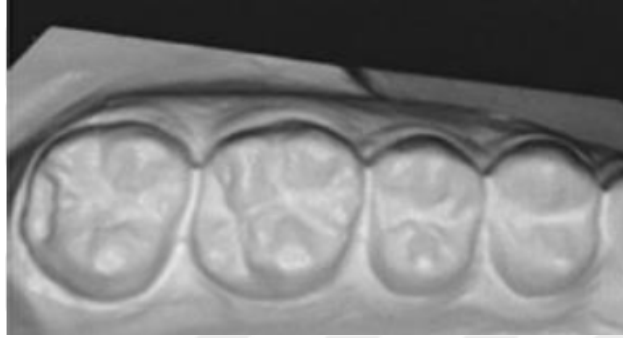
3.2.9.1.1. Sıralanma

Maksiller ön bölgede, kesici ve kanin dişlerin insizal kenarları ile lingual yüzeylerinin aynı seviyede olması gerekmektedir. Mandibular ön bölgede ise kesici ve kanin dişlerin insizal kenarları ile labiyal yüzeylerinin aynı seviyede olması beklenmektedir (**Şekil 3.13**).



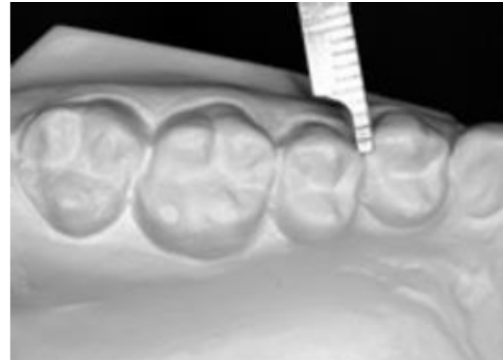
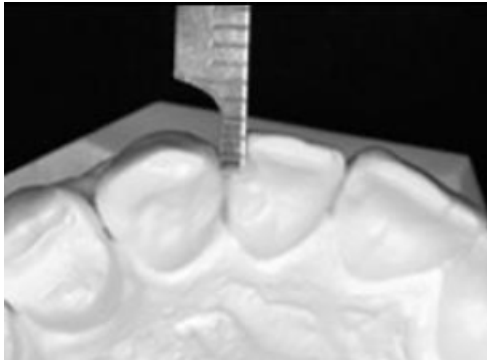
Şekil 3.13. Ön bölgede sıralanma

Maksiller arka bölgede, santral fossaların (meziodistal) tamamının aynı düzlemde yer alması gerekmektedir. Mandibular arka bölgede ise molar ve premolar dişlerin meziobukkal ve distobukkal tüberküllerinin aynı düzlemde olması beklenmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Arka bölgede sıralanma

Sıralanmada 0,5 mm veya daha az sapma varsa puan verilmez. Kontak noktalarındaki sapma 0,5 mm ile 1 mm arasında ise sıra dışındaki her bir diş için 1 puan verilir (Şekil 3.15). Eğer bitişik dişler aynı hizada değilse, her bir diş için 1 puan eklenir. Sapma 1 mm'den büyük olduğunda ise 2 puan verilir. Ancak, bir diş için en fazla 2 puan verilebilir.



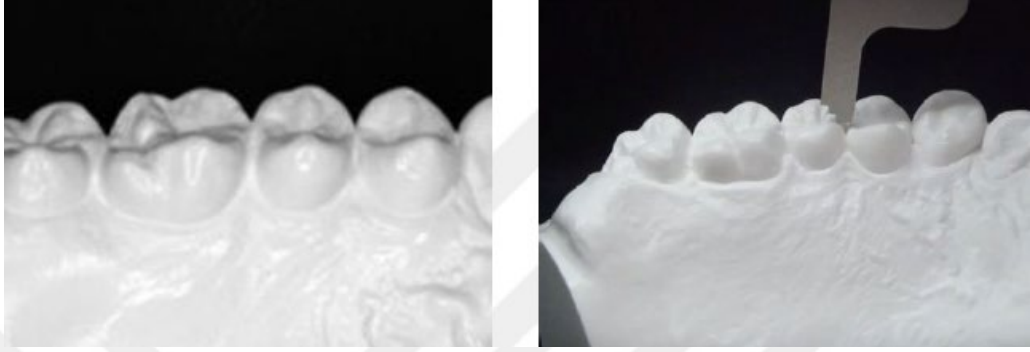
Şekil 3.15. Sıralanmanın Değerlendirilmesi

3.2.9.1.2. Marjinal Kenar Uyumu

Restorasyonu, atrisyonu veya periodontal kemik kaybı bulunmayan bireylerde, bitişik dişlerin marjinal sırtlarının aynı seviyede olması beklenir. Marjinal kenarların aynı seviyede olması, periodontal olarak sağlıklı bireylerde komşu dişler arasında düz bir kemik seviyesini destekler. Ayrıca, marjinal sırtların aynı yükseklikte olması,

uygun oklüzal temasların sağlanmasını kolaylaştırır. Bu durum, hem estetik hem de fonksiyonel açıdan ideal bir diş dizilimi için önemli bir kriterdir.

Hem maksilla hem de mandibulada, bitişik arka dişlerin marjinal kenarları aynı seviyede veya 0.50 mm altında olmalıdır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Marjinal kenar uyumunun değerlendirilmesi [114]

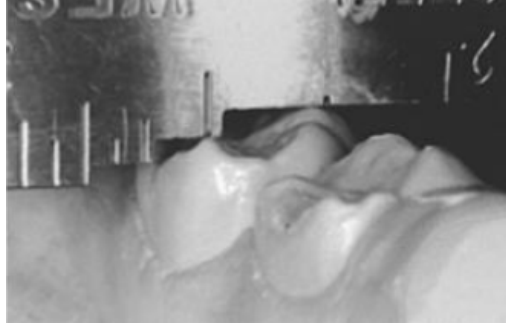
Bitişik marjinal kenarlar 0,5'den 1 mm'ye sapsa, 1 puan verilir. Marjinal kenar uyumsuzluğu 1 mm'den büyükse 2 puan verilir. Herhangi bir temas noktası için en fazla 2 puan verilir.

3.2.9.1.3. Bukkolingual Eğim

Maksimum interküspidasyonda uygun oklüzyonu sağlamak amacıyla, maksiller ve mandibular molar ile premolar dişlerin bukkal ve lingual tüberkülleri arasında belirgin bir fark bulunmamalıdır.

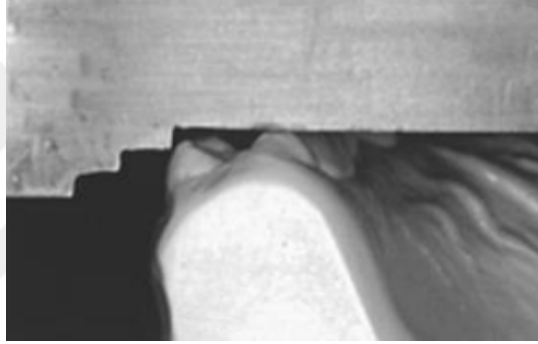
Maksiller ve mandibular arka dişlerin bukkolingual eğimi, sağ ve sol arka dişlerin oklüzal yüzeyleri arasında uzanan düz bir yüzey kullanılarak değerlendirilmelidir. Bu şekilde konumlandırıldığında, düz kenar kontralateral mandibular molarların bukkal tüberküllerine temas etmelidir.

Lingual tüberküller ise düz kenar yüzeyinin en fazla 1 mm altında olmalıdır.(Şekil 3.17)



Şekil 3.17. Mandibular arkta bukkolingual eğimin değerlendirilmesi [114]

Maksiller arkta, düz kenar maksiller molar ve premolarların lingual tüberküllerine temas etmelidir. Bukkal tüberküller düz kenar yüzeyinin en fazla 1 mm altında olmalıdır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Maksiller arkta bukkolingual eğimin değerlendirilmesi [114]

Mandibular lingual tüberküllerin veya maksiller bukkal tüberküllerin düz kenar yüzeyine uzaklığı 1 mm'den fazla, ancak 2 mm'den azsa (Şekil 3.19), bu diş için 1 puan verilir.



Şekil 3.19. Bukkolingual eğimin değerlendirilmesi

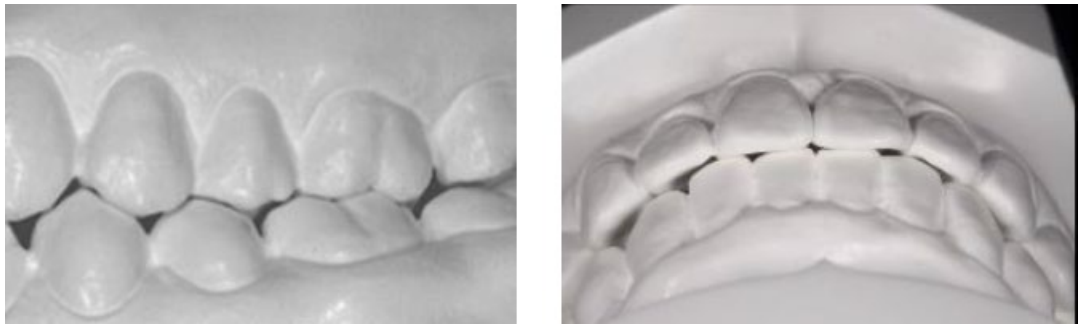
Tutarsızlık 2 mm'den fazlaysa (**Şekil 3.20**), ilgili diş için 2 puan verilir. Her bir diş için en fazla 2 puan verilebilir.



Şekil 3.20. Bukkolingual eğimin değerlendirilmesi

3.2.9.1.4. Overjet

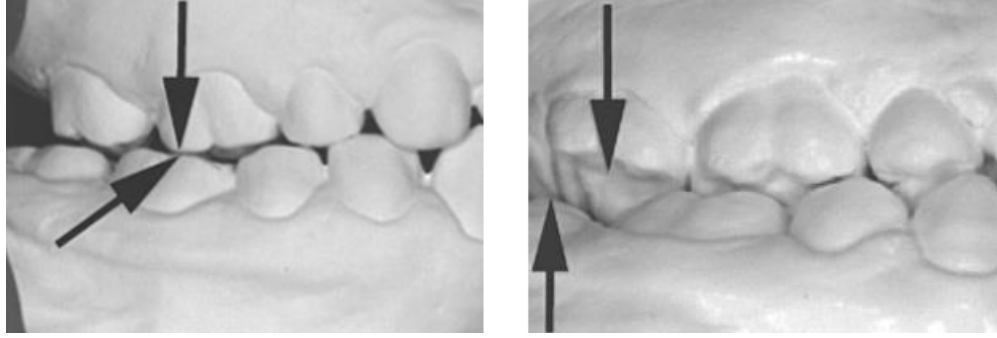
Overjet, arka dişlerin birbirine göre transversal ilişkisini ve ön dişlerin ön-arka yön ilişkisini değerlendirmek amacıyla kullanılır. Overjet, modellerin kapanışında maksiller arkın mandibular ark ile labiolingual ilişkisinin değerlendirilmesidir. Modellerin doğru kapanış ilişkisini belirlemek için, uygulayıcının modellerin sırtlarının düzgün bir şekilde trimlenmesine güvenmesi gerekir. Bu değerlendirme, modellerin sırtlarına düz olarak yerleştirilmesi ile yapılır. Eğer uygun overjet mevcutsa, mandibular molar ve premolarların bukkal tüberküleri, maksiller premolar ve molarların oklüzal yüzeylerinin ortasına temas eder. Ön bölgede ise mandibular kanin ve kesici dişler, maksiller kanin ve kesici dişlerin lingual yüzeylerine temas eder (**Şekil 3.21**). Bu ilişki sağlandığında puan verilmez.



Şekil 3.21. Ön ve arka dişlerde ideal overjet [114]

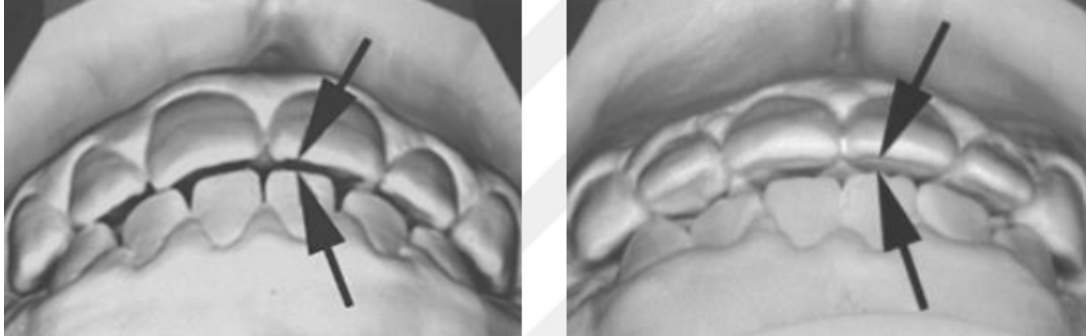
Mandibular bukkal tüberküleri, karşı dişin merkezinden 1 mm veya daha az sapsa, ilgili diş için 1 puan verilir. Mandibular bukkal tüberküllerin konumu, karşı dişin

merkezinden 1 mm'den fazla saparsa bu diş için 2 puan verilir (**Şekil 3.22**). Herhangi bir diş için 2'den fazla puan verilmez.



Şekil 3.22. Arka dişlerde overjetin değerlendirilmesi [114]

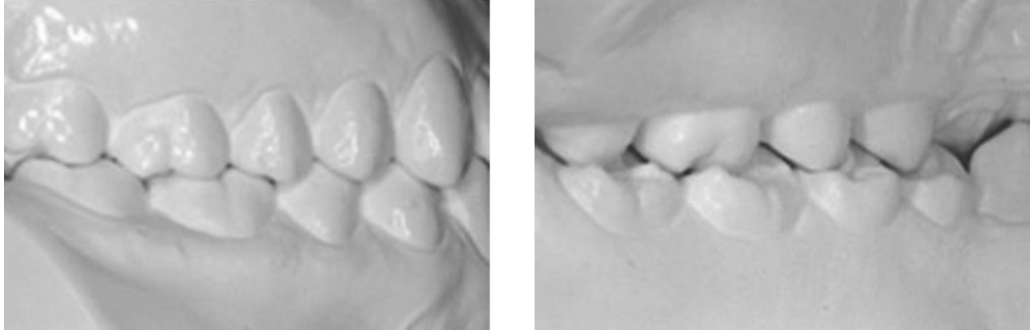
Ön bölgede, mandibular kanin veya kesiciler maksiller kanin ve kesicilerin lingual yüzeylerine temas etmiyorsa ve mesafe 1 mm veya daha az ise, her bir diş için 1 puan verilir. Tutarsızlık 1 mm'den fazlaysa, her bir diş için 2 puan verilir (**Şekil 3.23**).



Şekil 3.23. Ön dişlerde overjetin değerlendirilmesi [114]

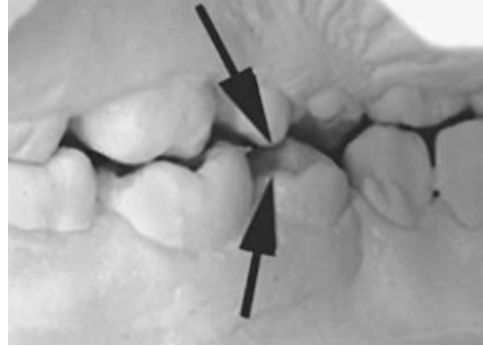
3.2.9.1.5. Okluzal Kontak

Posterior oklüzyonun yeterliliğini değerlendirmek için oklüzal kontaklar ölçülür. Ortodontik tedavinin temel amaçlarından biri, karşıt dişlerin maksimum interküspitasyona geçmesini sağlamaktır. Bu değerlendirme, premolar ve molar dişlerin oklüzal temasının yeterliliğini belirlemeye odaklanır. Mandibular premolar ve molar dişlerin bukkal tüberkülleri ile maksiller premolar ve molar dişlerin lingual tüberkülleri, karşıt dişlerin oklüzal yüzeyleriyle uygun şekilde temas etmelidir (**Şekil 3.24**).



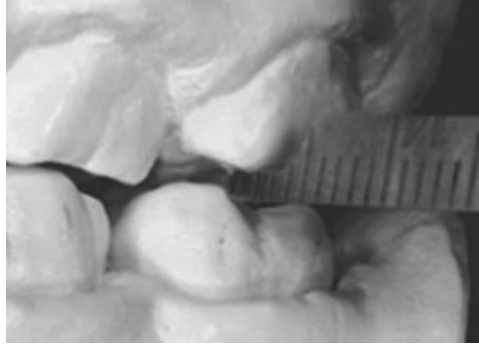
Şekil 3.24. İdeal okluzal kontaklar

Her mandibular premolar bir fonksiyonel tüberküle, her mandibular molar ise iki fonksiyonel bukkal tüberküle sahiptir. Maksiller premolarların bir fonksiyonel lingual tüberküle bulunmaktadır. Ancak maksiller molarların yalnızca meziolingual fonksiyonel bir tüberküle olabilir. Distolingual tüberkül kısa veya küçükse değerlendirmede dikkate alınmamalıdır. Eğer bu tüberkül belirgin ancak karşıt arkla temas etmiyorsa, puan verilebilir. Tüberküller karşı arkla temas halindeyse puan verilmez. Eğer tüberküller karşıt arkla temas etmiyor ve mesafe 1 mm veya daha az ise (Şekil 3.25), ilgili diş için 1 puan verilir.



Şekil 3.25. Okluzal kontağın değerlendirilmesi [114]

Tüberkül karşıt arkla temas etmiyorsa ve mesafe 1 mm'den büyükse (Şekil 3.26), ilgili diş için 2 puan verilir. Her bir diş için maksimum 2 puan alınabilir.



Şekil 3.26. Okluzal kantağın değerdendirilmesi

3.2.9.1.6. Okluzal İlişki

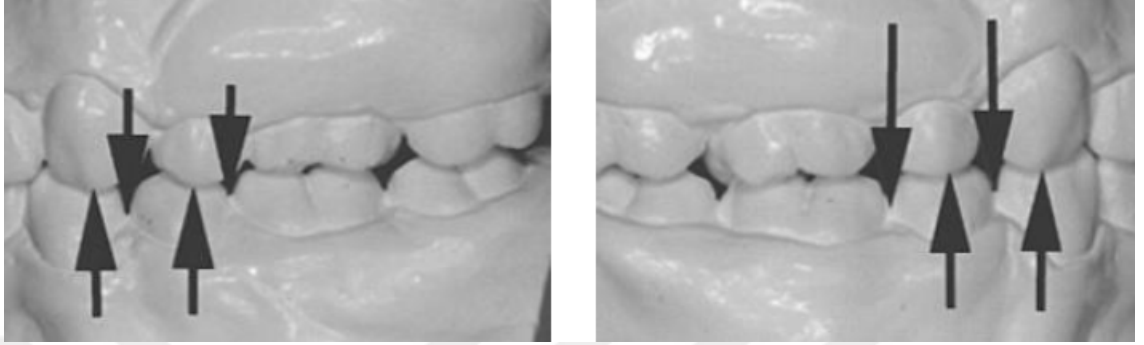
Oklüzal ilişki, maksiller ve mandibular arka dişlerin birbirine göre ön-arka pozisyonlarını değerdendirmek için kullanılır. Bu ilişkinin değerdendirilmesinde doğruluk ve güvenilirlik sağlamak amacıyla Angle'ın sınıflaması en doğru yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu sınıflamaya göre, maksiller molar, premolar ve kaninlerin bukkal tüberkülleri, mandibular arka dişlerin interproksimal oluklarının 1 mm içinde konumlanmalıdır. Ayrıca, maksiller birinci moların meziobukkal tüberkülü, mandibular birinci moların bukkal oluğunun 1 mm içinde yer almalıdır.

Değerdendirmenin bu bölümü, oklüzyonun Angle Sınıf I ilişkisinde olup olmadığını belirlemeye yöneliktir. İdeal olarak, maksiller kaninin tüberkül tepesi, mandibular kanin ile bitişik premolar arasındaki oluğun 1 mm'lik mesafesi içinde konumlanmalıdır. Maksiller premolarların bukkal tüberkülleri, mandibular premolar ile birinci molar arasındaki olukta veya bu oluktan 1 mm yakınında yer almalıdır. Maksiller molarların meziobukkal tüberkülleri ise mandibular molarların bukkal oluklarında konumlanmalıdır (Şekil 3.27).



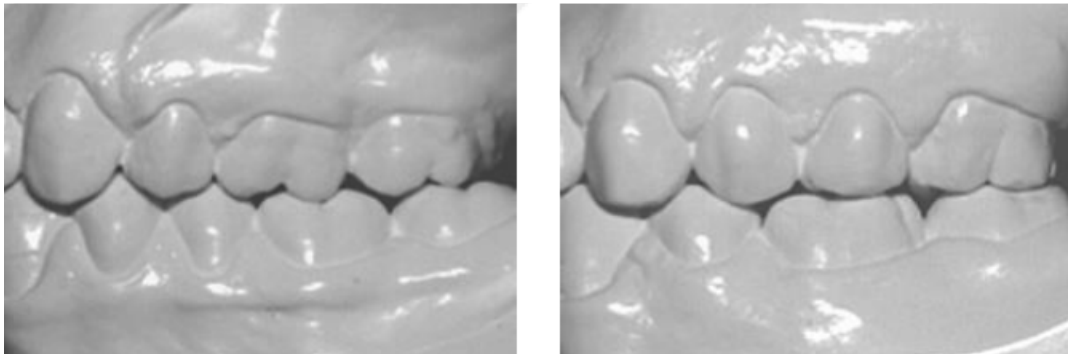
Şekil 3.27. İdeal oklüzal ilişki [114]

Maksiller bukkal tüberküller yukarıda belirtilen ideal konumlardan 1 ila 2 mm arasında saparsa, ilgili diş için 1 puan verilir (**Şekil 3.28**). Maksiller premolar veya molarların bukkal tüberkülleri ideal pozisyonundan 2 mm'den fazla saparsa, sapan her bir diş için 2 puan verilir (**Şekil 3.28**). Her bir diş için maksimum 2 puan alınabilir.



Şekil 3.28. Okluzal ilişkinin değerlendirilmesi [114]

Bazı durumlarda posterior oklüzyon, maksiller veya mandibular arklardaki diş çekimlerine bağlı olarak Angle Sınıf II veya Sınıf III ilişkisinde tamamlanabilir. Sınıf II ilişki durumunda (**Şekil 3.29**), maksiller birinci moların bukkal tüberkülü, mandibular ikinci premolar ve birinci molar arasındaki olukta veya interproksimal kontak üzerinde konumlanmalıdır. Maksiller ikinci moların bukkal tüberkülü ise mandibular birinci ve ikinci molarlar arasındaki olukta veya interproksimal kontak üzerinde yer almalıdır. Eğer nihai oklüzyon bir Sınıf III ilişkisinde tamamlanırsa (mandibular premolar çekimine bağlı olarak), maksiller ikinci premoların bukkal tüberkülü, mandibular birinci moların bukkal oluğunda konumlanmalıdır (**Şekil 3.29**).

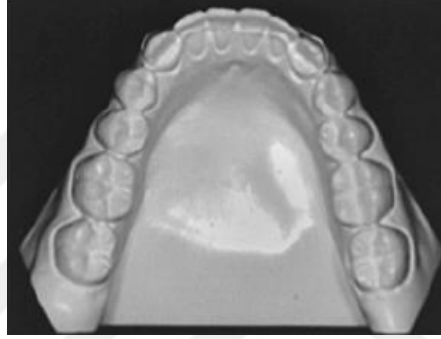


Şekil 3.29. Sınıf II ve Sınıf III bitimli modellerde okluzal ilişkinin değerlendirilmesi [114]

3.2.9.1.7. İnterproksimal Kontaklar

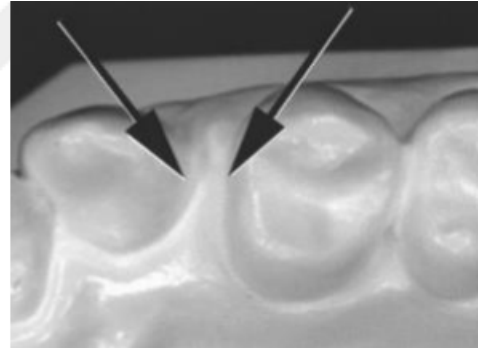
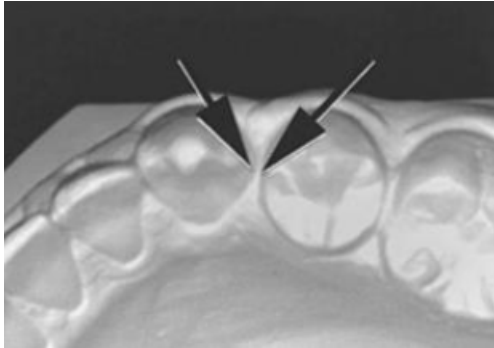
İnterproksimal kontaklar, dental ark içindeki tüm boşlukların kapalı olup olmadığını değerlendirmek için kullanılır. Ortodontik tedavi sonrası dişler arasındaki kalıcı boşluklar, yalnızca estetik bir problem oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda gıda sıkışması gibi fonksiyonel sorunlara da yol açabilir. Bu nedenle, interproksimal kontakların uygun bir şekilde sağlanması, tedavi başarısının önemli bir göstergesidir.

Bu değerlendirme, maksiller ve mandibular dental modellere oklüzal açıdan bakılarak yapılır. Dişlerin mezial ve distal yüzeyleri birbirleriyle temas halinde olmalıdır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. İdeal interproksimal kontaklar [114]

Proksimal boşluk yoksa veya boşluk 0,5 mm ve daha azsa puan verilmez. İki komşu diş arasında 0,5-1 mm arasında interproksimal boşluk varsa, o bölge için 1 puan verilir (Şekil 3.31). İki diş arasında 1 mm'den daha fazla boşluk bulunuyorsa, o bölge için 2 puan verilir (Şekil 3.31). İdealden sapan kontaklar için her bir bölgeye en fazla 2 puan verilir.



Şekil 3.31. İnterproksimal kontakların değerlendirilmesi [114]

3.2.9.1.8. Kök Eğimi

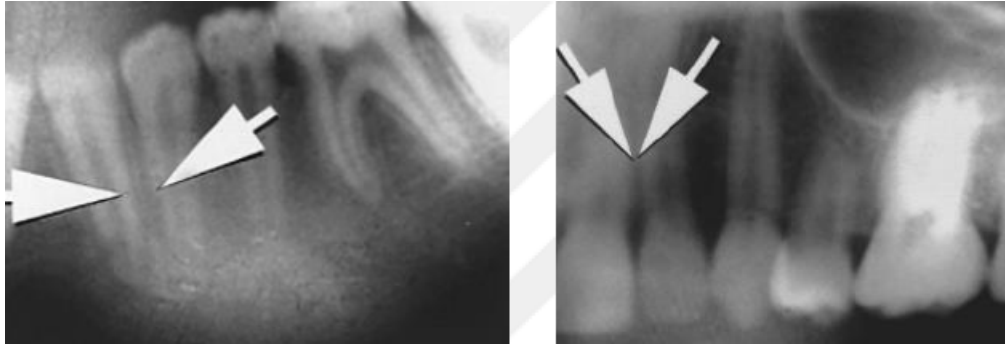
Kök eğimi, diş köklerinin birbirine göre ne kadar iyi konumlandığını değerlendirmek için kullanılır. Her ne kadar panoramik radyografi kök eğimlerini değerlendirmek için ideal bir kayıt yöntemi olmasa da, bu değerlendirme için en uygun araç olarak kabul edilir. Köklerin düzgün bir şekilde konumlanması, bitişik kökler arasında yeterli kemik bulunmasını sağlar, bu da hastanın periodontal kemik kaybına karşı direnç göstermesi açısından önem taşır.

Her iki çenede de dişlerin kökleri birbirine paralel ve okluzal düzleme dik olarak yönelmelidir (**Şekil 3.32**). Bu durumda puan verilmez.



Şekil 3.32. İdeal kök eğimleri [114]

Kökler mezial veya distale doğru eğimli ancak komşu dişe temas etmiyorsa (**Şekil 3.33**), 1 puan verilir. Eğer kökler komşu dişe temas ediyorsa (**Şekil 3.36**), o diş için 2 puan verilir. Kanin dişler bu değerlendirmeye dâhil edilmez.



Şekil 3.33. Kök eğimlerinin değerlendirilmesi [114]

Ölçülen değerler, OGS kayıt formlarına (**Şekil 3.34**) yazılır ve bu değerler toplanarak bir skor elde edilir.

Elde edilen skorların sınıflandırılması şu şekildedir:

- 20'den az ise: Başarılı
- 20-30 arasında ise: Belirsiz
- 30'dan fazla ise: Başarısız [114].



EXAM YEAR

ABO Cast-Radiograph Evaluation

Page 7

ABO ID #

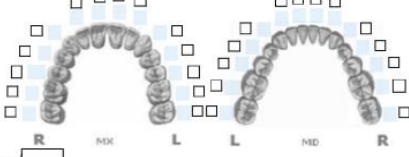
CASE#

PATIENT NAME

INSTRUCTIONS: Second molars should be in occlusion. Mark extracted teeth with a check in the bolded box. Place score beside each deficient tooth.

Total C-R Eval Score:

Alignment/Rotations



Marginal Ridges



Buccolingual Inclination



Overjet



20111008

EXAM YEAR

ABO Cast-Radiograph Evaluation

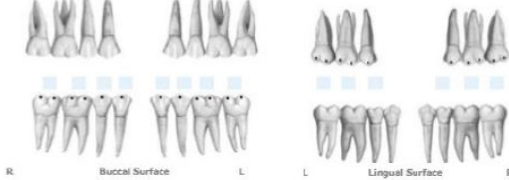
Page 8

ABO ID #

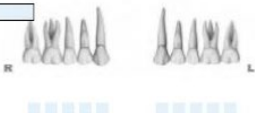
CASE#

PATIENT NAME

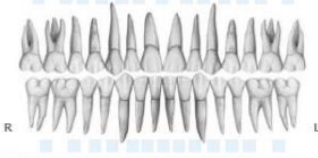
Occlusal Contacts



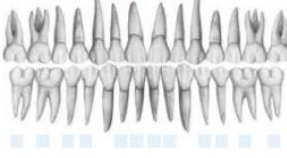
Occlusal Relationships



Interproximal Contacts



Root Angulation



20111008

Şekil 3.34. OGS kayıt formları

3.2.9.2. Tedavi Süresi Değerlendirme

Şeffaf plak tedavisi ve sabit ortodontik tedavi uygulamalarında tedavi süresinin hesaplanmasında belirli tarihler kaydedilmiştir. Tedavi başlangıcında, şeffaf plak tedavisi uygulanan hastalara ataçmanların yerleştirildiği ve plakların teslim edildiği, sabit ortodontik tedavi uygulanan hastalara ise braketlerin takıldığı tarihler not edilmiştir. Tedavi sonlanırken, şeffaf plak tedavisi uygulanan hastalar için plak kullanımının son günü, sabit ortodontik tedavi uygulanan hastalar için ise braketlerin çıkarıldığı tarihler kaydedilmiştir. Bu iki tarih arasındaki süre, toplam tedavi süresi olarak hesaplanmıştır.

3.2.9.3. Beyaz Nokta Lezyonları Kayıtları ve Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, gruptaki bütün hastalardan tedavi başlangıcında ve tedavi sonunda QLF görüntüleri alındı. QLF görüntüleri, QLF-D Biluminator 2 kamera sistemi (Inspektor Research Systems, Amsterdam, Hollanda) kullanılarak elde edilmiş ve görüntüler, görüntü yakalama yazılımı (C3 v1.26; Inspektor Research Systems) yüklü bir bilgisayarda depolanmıştır. Dış yüzeylerinin QLF görüntüleri, karanlık odada, aynı kamera pozisyonu ve açısıyla, tüm çekimler aynı kişi tarafından gerçekleştirilmiştir.

Her bireyde, üst çenedeki 10 anterior dişin (santral ve lateral kesiciler, kaninler ve premolarlar) bukkal yüzeyleri beyaz nokta lezyonu oluşumu açısından analiz edilmiştir. Her dört gruba ait QLF görüntüleri, gruplar hakkında bilgi sahibi olmayan aynı araştırmacı tarafından analiz yazılımı (QA2 v1.26; Inspektor Research Systems) kullanılarak değerlendirilmiştir.

Her bir diş için altı farklı parametre ölçülmüştür:

1. Delta F (Sembolü: ΔF , Birimi: %): Sağlam diş dokusuna kıyasla floresans kaybının yüzdesini ifade eder. Lezyon derinliğini gösteren bir ölçümdür.
2. Delta F Maksimum (Sembolü: ΔF_{max} , Birimi: %): Lezyonun tüm alanındaki maksimum floresans yoğunluğu kaybını belirtir.
3. Delta Q (Sembolü: ΔQ , Birimi: $\%px^2$): Sağlam diş dokusuna göre floresans kaybının yüzdesi ile lezyon alanının çarpımıdır. Lezyon hacmini ifade eden bir ölçümdür.

4. Lezyon Alanı (Sembolü: A, Birimi: px²): Belirli bir eşik değerine eşit veya bu değer altında ΔF değerine sahip olan lezyon alanını gösterir (varsayılan %5).

3.2.10. İstatistiksel Değerlendirme

Gruplardaki hasta sayısı, G*Power (Ver. 3.1.9.7, Heinrich Heine University, Düsseldorf, Almanya) güç analiz programı kullanılarak, 2020 yılında The Angle Orthodontist dergisinde yayımlanan “Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions” başlıklı makaledeki [117] ortodontik tedavi başlangıcı ve bitişi arasındaki tedavi süresi verilerine dayandırılmıştır. Yapılan ANOVA: Repeated measures, between-factors test analizi sonucunda, $\alpha=0,05$, $d=1,12765$ ve %90 güç ile her grupta 12 hasta olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmamızda toplamda 36 hasta dâhil edilmiştir. Ancak tedavi sürecinde ortaya çıkan kooperasyon eksikliği nedeniyle Grup A'da iki hasta ve Grup B'de bir hasta çalışma kapsamından çıkarılmıştır. Bu nedenle, elde edilen veriler üzerinde bir post hoc güç analizi yapılarak gruplar arasındaki sonuçlar arasında anlamlı farkı belirlemek için uygun örneklem büyüklüğü hesaplandı. Post hoc güç analizi sonuçları, çalışmadan ayrılan hastalar dikkate alındığında $\alpha=0,05$, $d=1,12765$ ve %85 güç ile her grupta 10 hastanın yeterli olacağını gösterdi.

Çalışmamızda elde edilen veriler IBM SPSS V23 programı ile analiz edildi. Normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk Testi ile incelendi. Üç ve üzeri gruplara göre normal dağılıma uyan değişkenlerin karşılaştırılmasında Tek Yönlü Varyans Analizi kullanıldı ve çoklu karşılaştırmalar Tukey Testi ile yapıldı. Üç ve üzeri gruplara göre normal dağılıma uymayan değişkenlerin karşılaştırılmasında Kruskal Wallis H Testi kullanıldı ve çoklu karşılaştırmalar Dunn Testi ile yapıldı. Kategorik değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesinde Monte Carlo Düzeltmeli Fisher's Exact Testi kullanıldı. Analiz sonuçları ortalama $\pm$ standart sapma ve ortanca (minimum – maksimum) şeklinde sunuldu. Kategorik verilerin gösteriminde ise yüzde ve frekans kullanıldı. Önem düzeyi $p<0,050$ olarak alındı.

3.2.10.1. Ölçüm Hatasının Değerlendirilmesi

Yapılan ölçümlere ilişkin metot hatasını belirlemek için 10 vakanın model ve radyografik ölçümleri 1 ay sonra tekrar yapılmıştır. Bu ölçümler için sınıf içi korelasyon katsayısı (Intraclass Correlation Coefficient, Cronbach Alpha, ICC) kullanılmıştır. Toplam OGS skorlarının birinci ve ikinci ölçümleri mükemmel bir uyum elde edilmiştir (ICC=0,917; $p<0,001$). Buna göre tekrarlı olarak yapmış olduğumuz ölçümlerin güvenilir olduğu söylenebilir.



4.BULGULAR

4.1. Bireylerin Demografik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Grup A’da grubunda cinsiyet dağılımları incelendiğinde erkek olanların oranı %40 iken, kadın olanların oranı %60 olarak elde edilmiştir. Grup B’de grubunda cinsiyet dağılımları incelendiğinde erkek olanların oranı %45,5 iken, kadın olanların oranı %54,6 olarak elde edilmiştir. Grup C’de grubunda cinsiyet dağılımları incelendiğinde erkek olanların oranı %33,3 iken, kadın olanların oranı %66,7 olarak elde edilmiştir. Cinsiyet ile grup arasında bağlantılı olup olmadığı incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir bağlantının olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,837$).

Tablo 4.1. Grup ve cinsiyet arasındaki ilişkinin incelenmesi

Cinsiyet kategorik	Grup-A	Grup-B	Grup-C	Toplam	Test İstatistiği	p
Erkek	4 (40)	5 (45,5)	4 (33,3)	13 (39,4)	0,459	0,905 ^x
Kadın	6 (60)	6 (54,6)	8 (66,7)	20 (60,6)		

^xMonte Carlo Düzeltmeli Fisher’s Exact Testi; n(%)

Tablo 4.2. Çalışmaya dahil edilen bireylerin yaş ve cinsiyet dağılımı

Grup	N	Kız	Erkek	Yaş Ortalaması
Grup A	10	6	4	15,4 ± 1,69
Grup B	11	6	5	18,3 ± 2,9
Grup C	12	8	4	15,6 ± 1,46

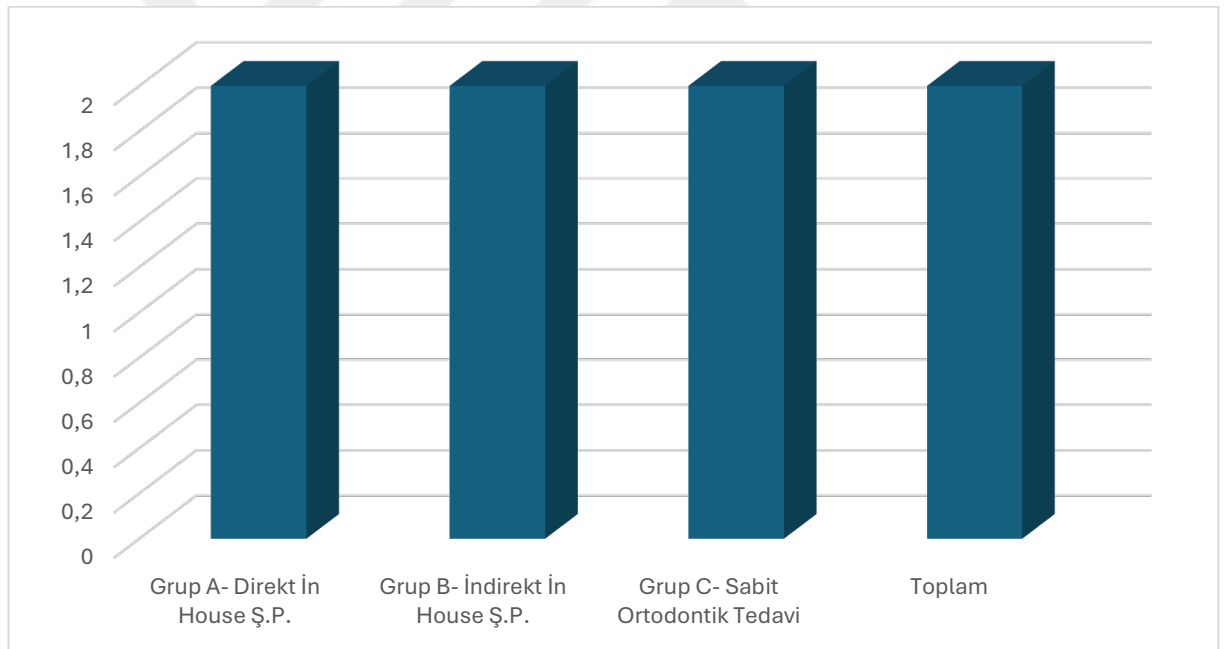
4.2. Objektif Derecelendirme Sistemi (OGS) Bulguları

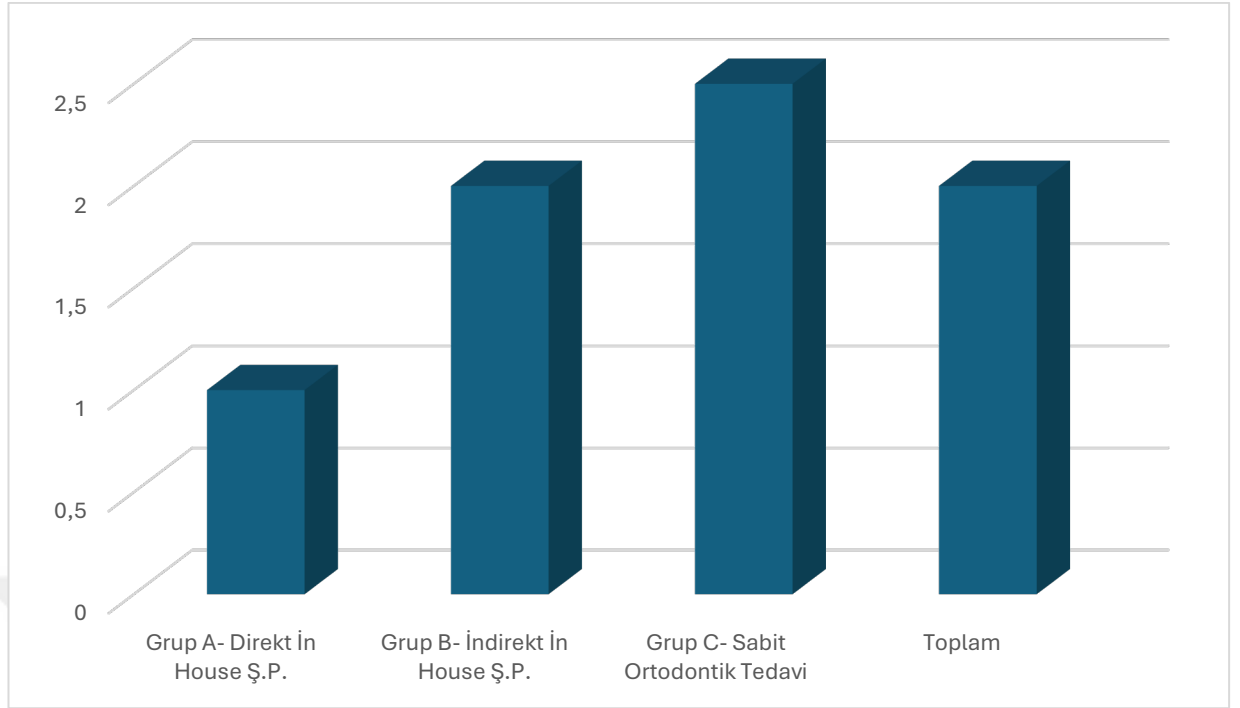
Gruplara göre ortanca sıralanma değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,948$). Tüm gruplarda ortanca değer 2 olarak elde edilmiştir. Gruplara göre ortanca marjinal kenar uyumu değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,130$). Grup C'de ortanca değer 2,5 iken, Grup A'da 1 ve Grup B'de 2 olarak elde edilmiştir. Gruplara göre ortanca bukkolingual eğim değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,641$). Grup C'de ortanca değer 1,5 iken, Grup A'da 2 ve Grup B'de 2 olarak elde edilmiştir. Gruplara göre ortalama overjet değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,692$). Grup C'de ortalama değer 2,25 iken, Grup A'da 2,7 ve Grup B'de 2,36 olarak elde edilmiştir. Gruplara göre ortanca okluzal kontak değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,899$). Grup C'de ortanca değer 1 iken, Grup A'da 1,5 ve Grup B'de 2 olarak elde edilmiştir. Gruplara göre ortanca okluzal ilişki değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,093$). Grup C'de ortanca değer 0,5 iken, Grup A'da 2 ve Grup B'de 3 olarak elde edilmiştir. Gruplara göre ortanca interproksimal kontaklar değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,125$). Tüm gruplarda ortanca değer 0 olarak elde edilmiştir. Gruplara göre ortanca kök eğimi değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p=0,018$). Grup C'de ortanca değer 1 iken, Grup A'da 3 ve Grup B'de 2 olarak elde edilmiştir. Grup C'de ile Grup B arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yok iken sabit grubu ile Grup A'da arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. Grup A'da grubu ile Grup B arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Gruplara göre ortalama abo bitiş ogs değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,136$). Grup C'de ortalama değer 12,08 iken, Grup A'da 14,4 ve Grup B'de 14,09 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.3. Gruplara göre parametrelerin karşılaştırılması

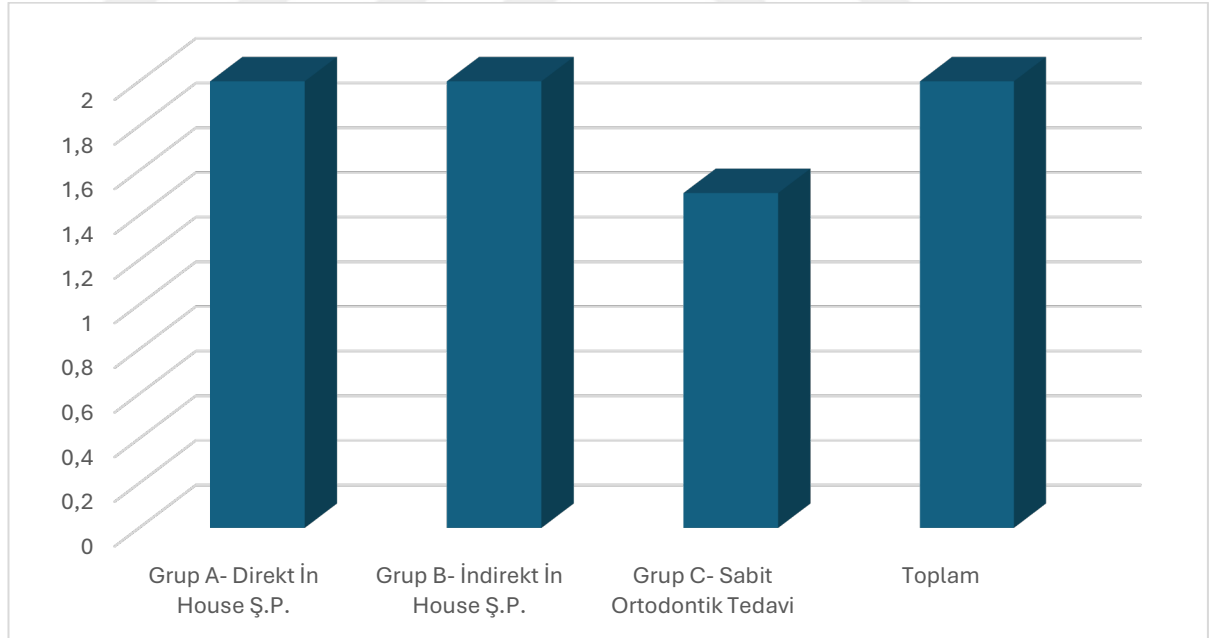
	Grup A	Grup B	Grup C	Toplam	Test İstatistiği	p
Sıralanma	2 (1 - 4)	2 (0 - 4)	2 (0 - 3)	2 (0 - 4)	0,107	0,948 ^x
Marjinal Kenar Uyumu	1 (0 - 7)	2 (0 - 3)	2,5 (1 - 3)	2 (0 - 7)	4,085	0,130 ^x
Bukkolingual Eğim	2 (1 - 3)	2 (0 - 2)	1,5 (1 - 3)	2 (0 - 3)	0,889	0,641 ^x
Overjet	2,7 ± 1,49	2,36 ± 1,29	2,25±0,97	2,42±1,23	0,373	0,692 ^y
Okluzal Kontak	1,5 (0 - 3)	2 (0 - 3)	1 (1 - 5)	2 (0 - 5)	0,212	0,899 ^x
Okluzal İlişki	2 (0 - 3)	3 (0 - 5)	0,5 (0 - 4)	2 (0 - 5)	4,760	0,093 ^x
İnterproksimal Kontaklar	0 (0 - 2)	0 (0 - 1)	0 (0 - 0)	0 (0 - 2)	4,162	0,125 ^x
Kök Eğimi	3 (1 - 4) _b	2 (1 - 3) _{ab}	1 (0 - 2) ^a	2 (0 - 4)	7,994	0,018^x
Toplam OGS skoru	14,4± 2,59	14,09± 3,51	12,08±2,5	13,45 ± 3	2,138	0,136 ^y

^x Kruskal Wallis H Testi; ^y Tek Yönlü Varyans Analizi; ^{a-b} aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur. Ortalama ± Standart sapma, Ortanca (minimum-maksimum)

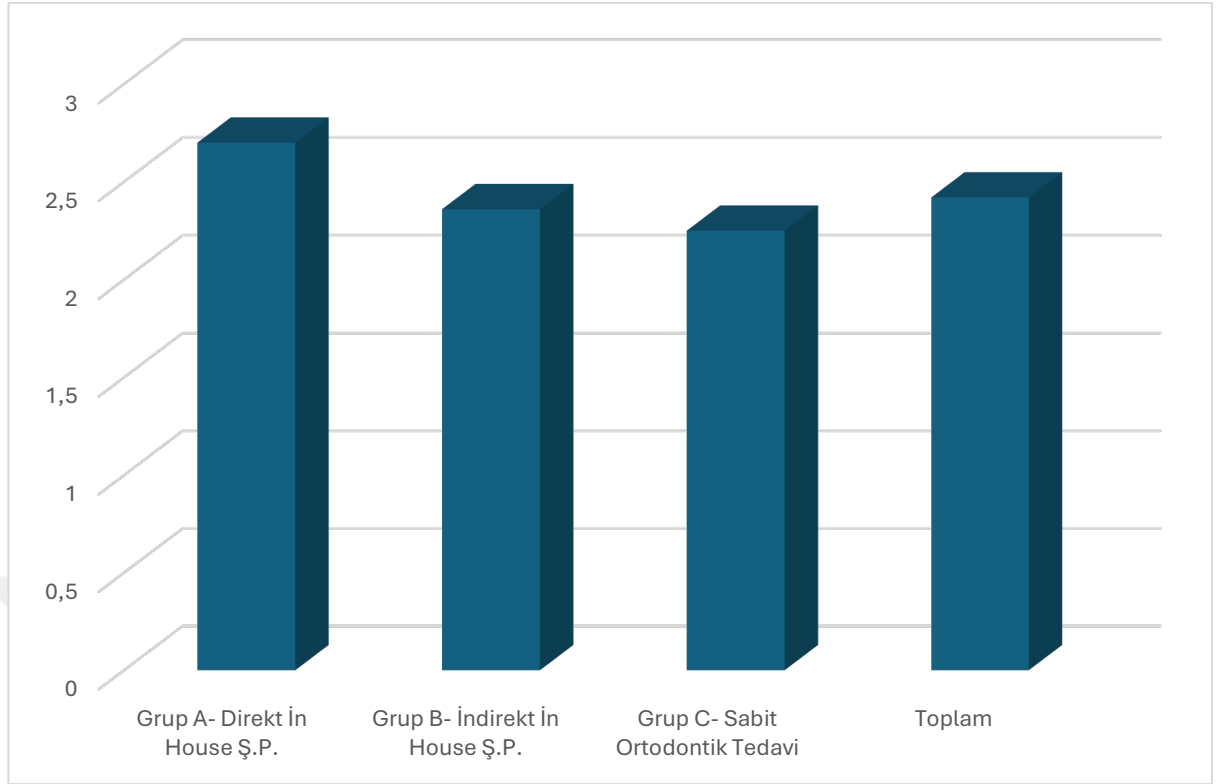
**Şekil 4.1.** Tüm olgularda ve gruplarda sıralanma skorları



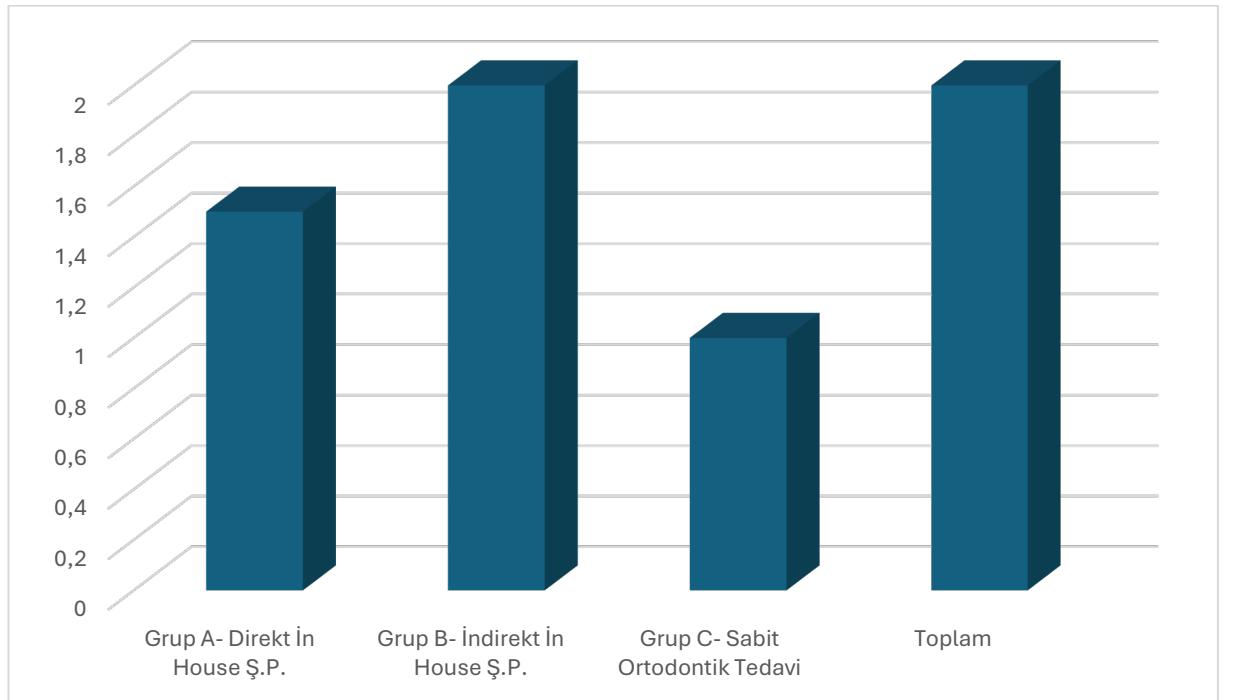
Şekil 4.2. Tüm olgularda ve gruplarda marjinal kenar uyumu skorları



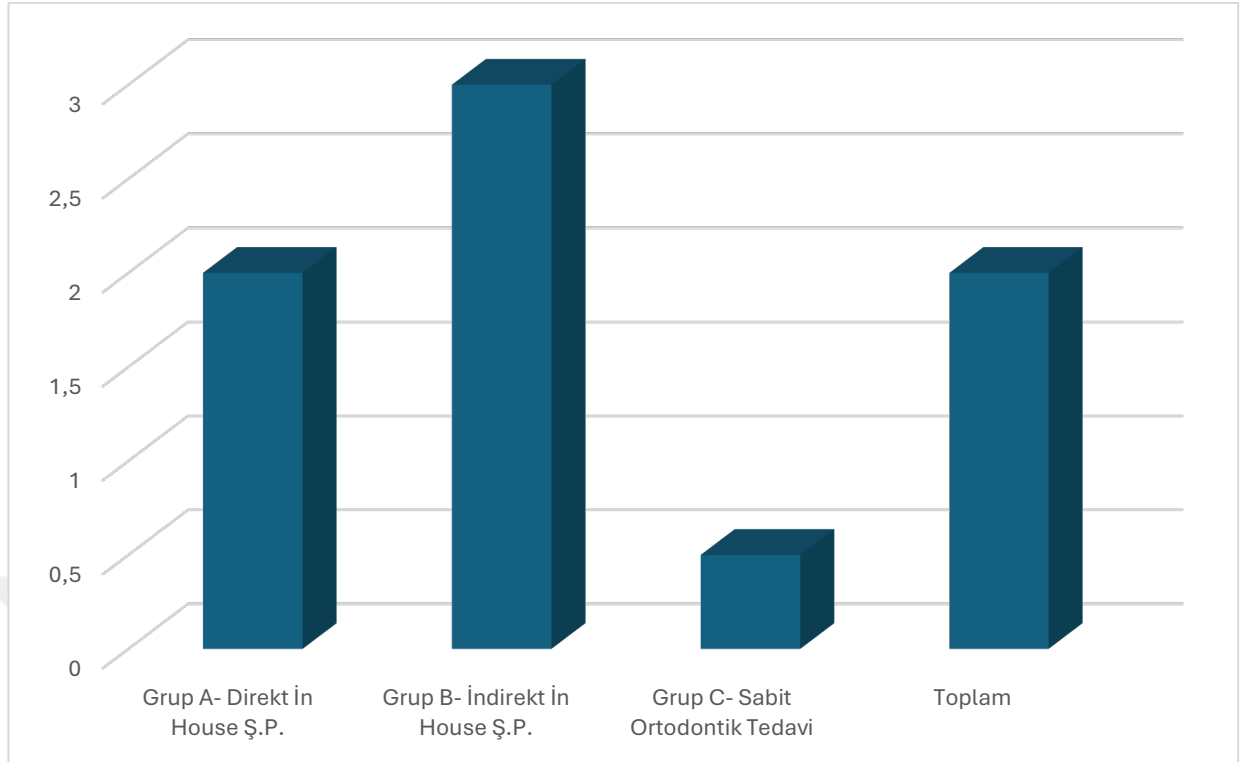
Şekil 4.3. Tüm olgularda ve gruplarda bukkolingual eğim skorları



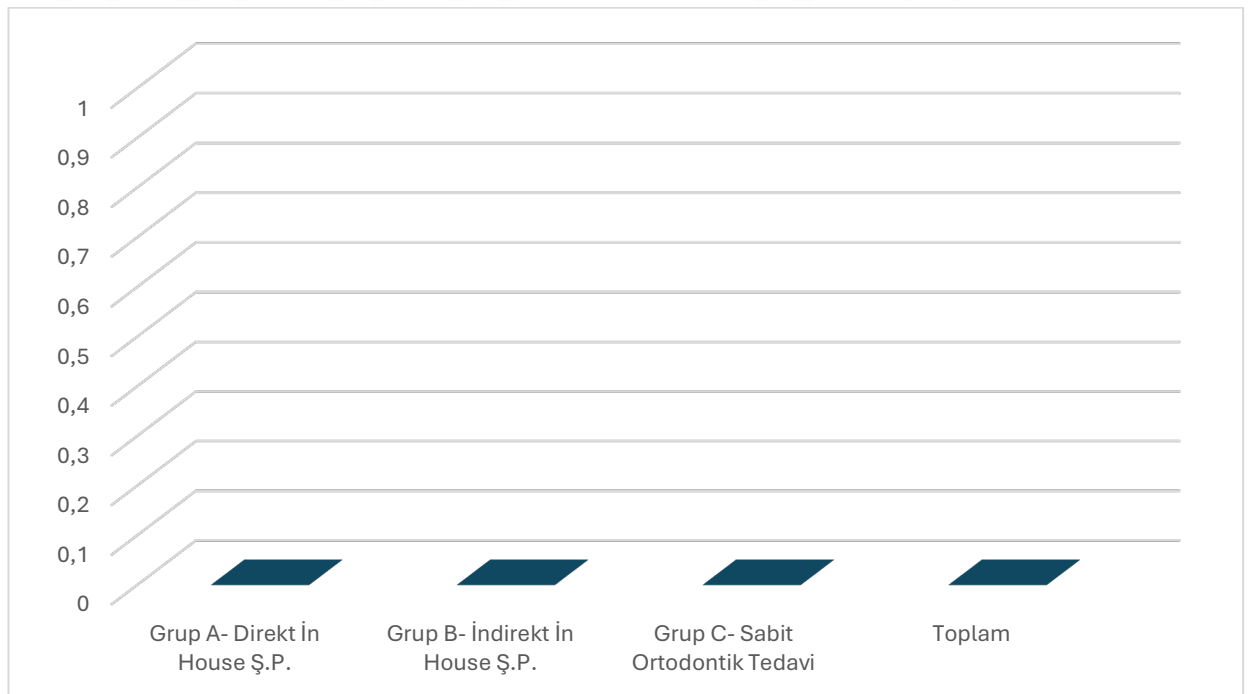
Şekil 4.4. Tüm olgularda ve gruplarda overjet skorları



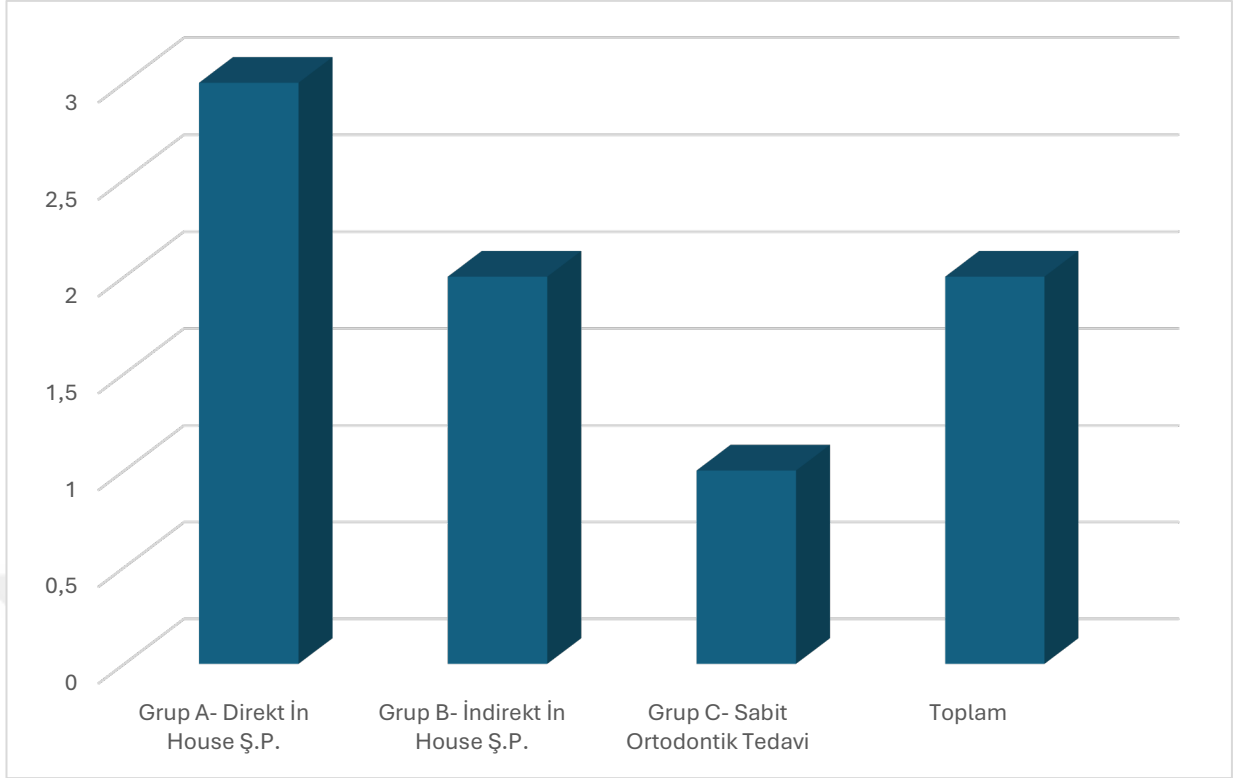
Şekil 4.5. Tüm olgularda ve gruplarda okluzal kontak skorları



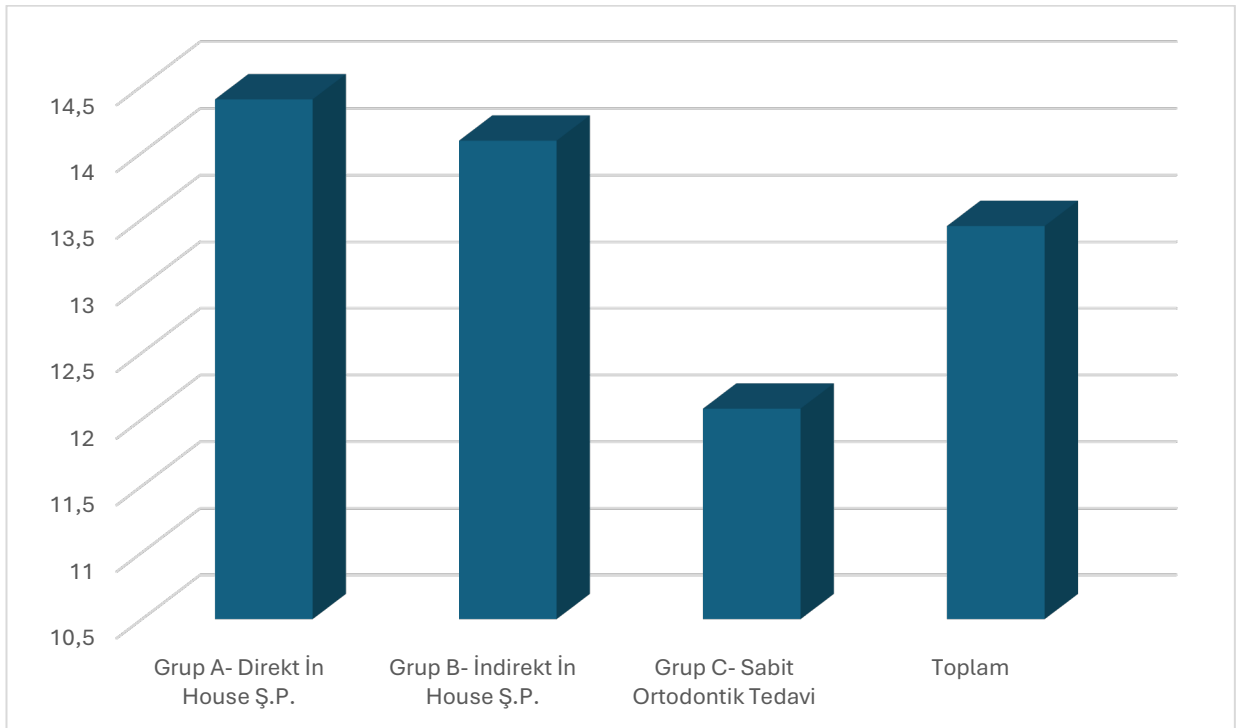
Şekil 4.6. Tüm olgularda ve gruplarda okluzal ilişki skorları



Şekil 4.7. Tüm olgularda ve gruplarda interproksimal kontak skorları



Şekil 4.8. Tüm olgularda ve gruplarda kök eğimi skorları



Şekil 4.9. Tüm olgularda ve gruplarda toplam OGS skorları

4.3. Toplam Tedavi Süresine Ait Bulgular

Gruplara göre ortalama toplam tedavi süresi (ay) değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0,001$). Grup-A'da ortalama değer 6,26 iken, Grup-B'de 7,92 ve Grup-C'de 9,88 olarak elde edilmiştir. Grup-A ile Grup-B arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yok iken Grup-A ile Grup-C arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. Grup-B ile Grup-C arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Ayrıca toplam tedavi süresine göre kullanılan toplam ortalama plak sayısı Grup A'da (Direkt İn House Ş.P.) 25, Grup B'de (İndirekt İn House Ş.P.) 32 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.4. Grupların toplam tedavi süresi açısından karşılaştırılması

Grup	Ortalama $\pm$ S.sapma	Ortanca (min-mak)	Test İstatistiği	p
Grup-A	6,26 $\pm$ 1,31 ^a	6,4 (3,9 - 7,8)	11,602	< 0,001 ^x
Grup-B	7,92 $\pm$ 3,23 ^{ab}	7,3 (2,5 - 11,8)		
Grup-C	9,88 $\pm$ 2,14 ^b	10,1 (5,3 - 12,6)		

^x Tek Yönlü Varyans Analizi; ^{a-b} aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur. Ortalama $\pm$ Standart sapma, Ortanca (minimum-maksimum)

Tablo 4.5. Toplam ortalama plak sayısının karşılaştırılması

Grup	Toplam Ortalama Plak Sayısı
Grup A (Direkt İn House Ş.P.)	25
Grup B (İndirekt İn House Ş.P.)	32

4.4. QLF Analizine Ait Bulgular

Delta F (ΔF) parametresinin T0-T1 arasındaki değişimi açısından değerlendirildiğinde 15, 13, 12, 11, 21, 22, 23, 24, 25, 45, 44, 43, 42, 41, 32, 33 ve 34 nolu dişlerde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Delta F (ΔF) parametresinin T0-T1 arasındaki değişimi 14 ve 31 nolu dişler için anlamlı bulunmuştur. 14 numaralı dişte gruplara göre ortanca Δf fark değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p=0,027$). Sabit grubunda (Grup-C) ortanca değer -2,4 iken, İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-

A) -6,65 ve İn House İndirekt şeffaf plak grubunda (Grup-B) -7,9 olarak elde edilmiştir. Sabit grubu (Grup-C) ile İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yok iken Sabit grubu (Grup-C) ile İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) ile İn House İndirekt şeffaf plak grubunda (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. 31 numaralı dişte gruplara göre ortalama Δf fark değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p=0,037$). Sabit grubu (Grup-C) ortalama değer -3,2 iken, İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) -2,7, İn House İndirekt şeffaf plak grubunda (Grup-B) -8,6 olarak elde edilmiştir. Sabit grubu (Grup-C) ile İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Delta F Maksimum (ΔF_{max}) parametresinin T0-T1 arasındaki değişimi açısından değerlendirildiğinde 15, 12, 11, 21, 22, 23, 24, 45, 44, 43, 42, 41, 31, 32, 33, 34 ve 35 nolu dişlerde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Delta F Maksimum (ΔF_{max}) parametresinin T0-T1 arasındaki değişimi 14, 13 ve 25 nolu dişler için anlamlı bulunmuştur. 13 numaralı dişte gruplara göre ortalama ΔF_{max} fark değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p=0,013$). Sabit grubu (Grup-C) ortalama değer -8,51 iken, İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) -10,17 ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) -21,78 olarak elde edilmiştir. Sabit grubu (Grup-C) ile İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yok iken Sabit grubu (Grup-C) ile İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) ile İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. 14 numaralı dişte gruplara göre ortalama ΔF_{max} fark değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p=0,032$). Sabit grubu (Grup-C) ortalama değer -6,64 iken, İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) -11,56 ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) -17,01 olarak elde edilmiştir. Sabit grubu (Grup-C) ile İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A)

arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yok iken Sabit grubu (Grup-C) ile İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) ile İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. 25 numaralı dişte gruplara göre ortalama ΔF_{max} fark değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p=0,035$). Sabit grubu (Grup-C) ortalama değer -5,25 iken, İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) -19,53 ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) -17,74 olarak elde edilmiştir. Sabit grubu (Grup-C) ile İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) ile İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Delta Q (ΔQ) parametresinin T0-T1 arasındaki değişimi açısından değerlendirildiğinde 15, 13, 12, 11, 21, 22, 23, 25, 45, 44, 43, 42, 41, 31, 32, 33, 34 ve 35 nolu dişlerde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Delta Q (ΔQ) parametresinin T0-T1 arasındaki değişimi 14 ve 24 numaralı dişler için anlamlı bulunmuştur. 14 numaralı dişte gruplara göre ortalama Δq fark değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p=0,037$). Sabit grubu (Grup-C) ortalama değer -314,95 iken, İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) -221 ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) -802 olarak elde edilmiştir. Sabit grubu (Grup-C) ile İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) ile İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. 24 numaralı dişte gruplara göre ortalama Δq fark değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p=0,047$). Sabit grubunda ortalama değer -221 iken, İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) -233 ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) -961 olarak elde edilmiştir. Sabit grubu ile İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) grubu ile İn House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup-B) ve İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup-A) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Lezyon Alanı (WS Area) parametresinin T0-T1 arasındaki değişimi açısından değerlendirildiğinde 15, 14, 13, 12, 11, 21, 22, 23, 24, 25, 45, 44, 43, 42, 41, 31, 32, 33, 34 ve 35 nolu dişlerde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 4.6. Her bir diş için gruplara göre QLF parametrelerindeki T0-T1 değişiminin karşılaştırılması

Diş numaraları	Farklar(il k-son)	Grup A (Direkt)	Grup B (İndirekt)	Grup C (Sabit)	Toplam	Test İstatistiği	P
11	ΔF fark	-1,6 (-8,4 - -0,8)	-2,7 (-10,4 - 1,7)	-2,35 (-11,3 - 7)	-2,3 (-11,3 - 7)	0,508	0,776 ^y
	Δf_{max} fark	-7 (-20,5 - -3,7)	-14,6 (-22,4 - 8,6)	-9 (-41,4 - 10)	-9 (-41,4 - 10)	4,016	0,134 ^y
	ΔQ fark	-674,5 (-3182 - -129)	-1210 (-9800 - 469)	-743 (-4021 - 113)	-812 (-9800 - 469)	1,637	0,441 ^y
	WS Area fark	86,5 (19 - 379)	129 (-53 - 939)	98,65 (-16 - 355)	103,3 (-53 - 939)	1,084	0,582 ^y
12	ΔF fark	-1,39 $\pm$ 4,22	-2,26 $\pm$ 4,13	-2,01 $\pm$ 4,05	-1,91 $\pm$ 4,01	0,123	0,885 ^x
	Δf_{max} fark	-7,55 (-14 - 14,8)	-8,3 (-29,5 - 9,5)	-6,9 (-21,6 - 12)	-7 (-29,5 - 14,8)	0,050	0,975 ^y
	ΔQ fark	-923 (-1630 - -55)	-1091 (-7178 - 26)	-683,5 (-4340 - 229)	-829,6 (-7178 - 229)	1,893	0,388 ^y
	WS Area fark	120,5 (14 - 185)	82 (-3 - 729)	83,65 (-33 - 455)	95 (-33 - 729)	1,581	0,454 ^y
13	ΔF fark	-4,12 $\pm$ 3,86	-6,4 $\pm$ 4,89	-3,68 $\pm$ 3,7	-4,72 $\pm$ 4,23	1,366	0,271 ^x
	Δf_{max} fark	-10,17 $\pm$ 8,24 ^a	-21,78 $\pm$ 14,9 ^b	-8,51 $\pm$ 7,61 ^a	-13,44 $\pm$ 12,03	5,036	0,013^x
	ΔQ fark	-675,5 (-5356 - 40)	-1307 (-7283 - -26)	-639,3 (-2118 - 53)	-883 (-7283 - 53)	5,707	0,058 ^y
	WS Area fark	79 (-5 - 627)	167 (5 - 473)	84,6 (-5 - 232)	110 (-5 - 627)	5,114	0,078 ^y
14	ΔF fark	-6,65 (-9,3 - 1,5) ^{ab}	-7,9 (-15,9 - 0,8) ^b	-2,4 (-8,9 - 6,3) ^a	-6,7 (-15,9 - 6,3)	7,233	0,027^x
	Δf_{max} fark	-11,56 $\pm$ 9,21 ^{ab}	-17,01 $\pm$ 10,13 ^b	-6,64 $\pm$ 7,36 ^a	-11,59 $\pm$ 9,69	3,880	0,032^y
	ΔQ fark	-221 (-2953 - 190) ^a	-802 (-2371 - 49) ^a	-314,95 (-1281 - 17) ^a	-348 (-2953 - 190)	6,570	0,037^x
	WS Area fark	34 (-4 - 318)	110 (-7 - 234)	41,8 (-3 - 144)	43,6 (-7 - 318)	5,979	0,050 ^x
15	ΔF fark	-8,1 (-10,8 - 5,2)	-7 (-8,8 - 4,3)	-3,15 (-8,7 - 6,6)	-7 (-10,8 - 6,6)	3,088	0,214 ^y
	Δf_{max} fark	-14,35 (-30,4 - 11,3)	-13,3 (-21,9 - 15,5)	-6,33 (-18,2 - 9)	-11,1 (-30,4 - 15,5)	3,089	0,214 ^y
	ΔQ fark	-825,5 (-5355 - 225)	-413 (-4012 - 664)	-353,75 (-1320 - 66)	-396,5 (-5355 - 664)	1,434	0,488 ^y
	WS Area fark	108,5 (-8 - 546)	53 (-45 - 210)	47,5 (-10 - 155)	53 (-45 - 546)	1,508	0,470 ^y
21	ΔF fark	-2,67 $\pm$ 3,42	-3,59 $\pm$ 4,38	-2,68 $\pm$ 4,66	-2,98 $\pm$ 4,12	0,173	0,842 ^x
	Δf_{max} fark	-8,46 $\pm$ 8,84	-12,45 $\pm$ 9,29	-6,68 $\pm$ 10,82	-9,14 $\pm$ 9,76	1,040	0,366 ^x
	ΔQ fark	-933 (-6813 - 227)	-875 (-7436 - -57)	-791,25 (-2504 - 274)	-875 (-7436 - 274)	0,958	0,619 ^y

	WS Area fark	109,5 (-23 - 583)	124 (-4 - 745)	99,05 (-24 - 282)	109 (-24 - 745)	0,861	0,650 ^y
22	ΔF fark	-4,53 $\pm$ 3,65	-3,19 $\pm$ 3,15	-2,78 $\pm$ 4,05	-3,45 $\pm$ 3,61	0,671	0,519 ^x
	Δf_{max} fark	-11,2 $\pm$ 7,62	-12,77 $\pm$ 9,31	-9,02 $\pm$ 7,04	-10,93 $\pm$ 7,94	0,636	0,537 ^x
	ΔQ fark	-1155,5 (-7856 - -120)	-1084 (-10610 - -12)	-1326,9 (-3003 - 6)	-1233,8 (-10610 - 6)	0,335	0,846 ^y
	WS Area fark	155,5 (16 - 733)	133 (2 - 1036)	146,8 (-1 - 339)	148 (-1 - 1036)	0,580	0,748 ^y
23	ΔF fark	-5,17 $\pm$ 2,78	-3,99 $\pm$ 4,65	-3,32 $\pm$ 3,59	-4,1 $\pm$ 3,73	0,665	0,522 ^x
	Δf_{max} fark	-11,28 $\pm$ 5,86	-8,67 $\pm$ 9,38	-6,55 $\pm$ 6,37	-8,69 $\pm$ 7,41	1,119	0,340 ^x
	ΔQ fark	-876,5 (-2398 - -24)	-766 (-2948 - -140)	-359,1 (-1148 - 549)	-415 (-2948 - 549)	3,809	0,149 ^y
	WS Area fark	117 $\pm$ 94,81	99,64 $\pm$ 90,83	46,53 $\pm$ 54,69	85,59 $\pm$ 84,16	2,318	0,116 ^x

^x Tek Yönlü Varyans Analizi; ^y Kruskal Wallis H Testi; Ortalama $\pm$ Standart sapma, Ortanca (minimum-maksimum), ^{a-b} aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur

Tablo 4.6. (devamı). Her bir diş için gruplara göre QLF parametrelerindeki T0-T1 değişiminin karşılaştırılması

Diş numaraları	Farklar (son-ilk)	Grup A	Grup B	Grup C	Toplam	Test İstatistiği	p
24	ΔF fark	-6,3 (-7,8 - 0,4)	-5,8 (-9,2 - - 0,9)	-6 (-9,2 - 0,6)	-6,3 (-9,2 - 0,6)	0,274	0,872 ^y
	Δf_{max} fark	-8,64 $\pm$ 6,21	-13,86 $\pm$ 8,24	-9,23 $\pm$ 6,95	-10,6 $\pm$ 7,36	1,715	0,197 ^x
	ΔQ fark	-233 (-900 - 123) ^a	-961 (-3153 - -46) ^a	-221 (-1274 - 0) ^a	-291 (-3153 - 123)	6,097	0,047^y
	WS Area fark	35 (-11 - 115)	104 (6 - 276)	34 (0 - 164)	44 (-11 - 276)	5,340	0,069 ^y
25	ΔF fark	-7,93 $\pm$ 6,11	-6,23 $\pm$ 3,97	-2,29 $\pm$ 6,3	-5,31 $\pm$ 5,91	3,018	0,064 ^x
	Δf_{max} fark	-19,53 $\pm$ 17,05 ^a	-17,74 $\pm$ 9,09 ^a	-5,25 $\pm$ 13,67 ^a	-13,74 $\pm$ 14,66	3,752	0,035^x
	ΔQ fark	-1368,5 (-6387 - 12)	-452 (-5441 - -187)	-371,4 (-2596 - 1893)	-471 (-6387 - 1893)	4,784	0,092 ^y
	WS Area fark	139,5 (-2 - 310)	61 (24 - 505)	47,35 (-140 - 240)	66 (-140 - 505)	3,437	0,179 ^y
31	ΔF fark	-2,7 (-15,2 - 0,2) ^a	-8,6 (-12,2 - - 1,7) ^b	-3,2 (-11,3 - 6,8) ^{ab}	-3,6 (-15,2 - 6,8)	6,607	0,037^y
	Δf_{max} fark	-8 (-33,3 - - 0,9)	-18 (-32,6 - - 4,8)	-12,1 (-31 - 8)	-12 (-33,3 - 8)	3,533	0,171 ^y
	ΔQ fark	-535,5 (-1291 - 135)	-664 (-10528 - -11)	-970,25 (-2468 - 14)	-851 (-10528 - 135)	1,414	0,493 ^y
	WS Area fark	50,5 (-18 - 137)	63 (2 - 892)	107,75 (-2 - 206)	70 (-18 - 892)	2,034	0,362 ^y
32	ΔF fark	-4,95 $\pm$ 4,29	-6,49 $\pm$ 2,12	-6,45 $\pm$ 3,17	-6,01 $\pm$ 3,25	0,751	0,481 ^x
	Δf_{max} fark	-16,17 $\pm$ 11,09	-20,14 $\pm$ 3,8	-16,46 $\pm$ 7,46	-17,6 $\pm$ 7,85	0,860	0,433 ^x
	ΔQ fark	-1742 (-9351 - -624)	-1106 (-5176 - -626)	-2494,65 (-5213 - -19)	-1671 (-9351 - -19)	0,941	0,625 ^y
	WS Area fark	205,5 (66 - 747)	130 (56 - 456)	252,6 (3 - 632)	210 (3 - 747)	1,053	0,591 ^y
33	ΔF fark	-6,95 (-11,5 - 3,3)	-7,3 (-8,9 - 0,6)	-6,65 (-8,8 - 6,8)	-7,1 (-11,5 - 6,8)	1,213	0,545 ^y
	Δf_{max} fark	-9,64 $\pm$ 11,14	-12,28 $\pm$ 6,9	-11,76 $\pm$ 10,98	-11,29 $\pm$ 9,62	0,209	0,813 ^x
	ΔQ fark	-420,5 (-1311 - 2406)	-337 (-2911 - -43,9)	-556,5 (-4574 - 7)	-429 (-4574 - 2406)	1,125	0,570 ^y
	WS Area fark	60 (-216 - 114)	46 (7 - 329)	79,5 (-1 - 531)	62 (-216 - 531)	1,527	0,466 ^y
34	ΔF fark	-5,98 $\pm$ 2,53	-5,65 $\pm$ 4	-4,06 $\pm$ 3,47	-5,17 $\pm$ 3,42	1,024	0,371 ^x
	Δf_{max} fark	-13,1 (-25,7 - -4,7)	-9,1 (-30 - - 3,1)	-10,35 (-19,2 - 1)	-11 (-30 - 1)	1,605	0,448 ^y
	ΔQ fark	-664 (-2725 - -6)	-426 (-2632 - -25)	-506,5 (-1727 - 0)	-476 (-2725 - 0)	0,502	0,778 ^y
	WS Area fark	97,4 $\pm$ 95,96	65,82 $\pm$ 56,56	72,67 $\pm$ 70,29	77,88 $\pm$ 73,94	0,509	0,606 ^x
35	ΔF fark	-6,23 $\pm$ 3,9	-7,24 $\pm$ 3,73	-6,53 $\pm$ 3,48	-6,67 $\pm$ 3,6	0,209	0,812 ^x
	Δf_{max} fark	-16,65 $\pm$ 10,89	-16,51 $\pm$ 8,31	-18,81 $\pm$ 10,49	-17,39 $\pm$ 9,69	0,193	0,826 ^x
	ΔQ fark	-868 (-4372 - 493)	-552 (-4309 - -249)	-1309,5 (-5647 - 374)	-777 (-5647 - 493)	1,208	0,547 ^y
	WS Area fark	93,5 (-56 - 336)	73 (38 - 302)	123,4 (-60 - 420)	82 (-60 - 420)	1,108	0,575 ^y
41	ΔF fark	-3,32 $\pm$ 4,25	-4,9 $\pm$ 2,95	-4,93 $\pm$ 4,65	-4,43 $\pm$ 3,97	0,547	0,584 ^x
	Δf_{max}	-8,42 $\pm$ 9,19	-11,79 $\pm$ 7,81	-11,71 $\pm$	-10,74 $\pm$	0,479	0,624 ^x

	fark			9,75	8,83		
	ΔQ fark	-208,5 (-3365 - 575)	-251 (-3765 - -16)	-538,45 (-1144 - 34)	-375 (-3765 - 575)	0,755	0,686 ^y
	WS Area fark	28 (-24 - 213)	36 (2 - 380)	59,3 (-6 - 113)	49 (-24 - 380)	0,579	0,749 ^y
42	ΔF fark	-1,45 (-12,9 - 1,3)	-5,5 (-11,8 - -0,3)	-4,15 (-10 - 0,5)	-3,5 (-12,9 - 1,3)	1,671	0,434 ^y
	Δf_{max} fark	-8,65 (-32,2 - 4,1)	-10,7 (-44,9 - -0,4)	-13,4 (-22,4 - 2)	-12,7 (-44,9 - 4,1)	1,576	0,455 ^y
	ΔQ fark	-1281,5 (-7525 - 357)	-1149 (-5318 - 4)	-2335,6 (-11897 - 26)	-1337 (-11897 - 357)	1,038	0,595 ^y
	WS Area fark	163,5 (-35 - 647)	145 (-17 - 392)	254,15 (-4 - 1021)	164 (-35 - 1021)	1,647	0,439 ^y

^x Tek Yönlü Varyans Analizi; ^y Kruskal Wallis H Testi; Ortalama $\pm$ Standart sapma, Ortanca (minimum-maksimum), ^{a-b} aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur

Tablo 4.6. (devamı). Her bir diş için gruplara göre QLF parametrelerindeki T0-T1 değişiminin karşılaştırılması

Diş numaraları	Farklar (son-ilk)	Grup A	Grup B	Grup C	Toplam	Test İstatistiği	p
43	ΔF fark	-6,96 (-8,8 - 0)	-7,5 (-9,1 - 0,4)	-5,55 (-7,3 - 5,6)	-6,7 (-9,1 - 5,6)	4,419	0,110 ^y
	Δf_{max} fark	-12,05 $\pm$ 5,56	-11,8 $\pm$ 7,28	-9,98 $\pm$ 8,82	-11,21 $\pm$ 7,27	0,263	0,770 ^x
	ΔQ fark	-504 (-1436 - 0)	-359 (-3250 - 314)	-551,5 (-2249 - 11)	-441 (-3250 - 314)	0,509	0,775 ^y
	WS Area fark	71,5 (0 - 171)	48 (-45 - 358)	73,89 (-2 - 276)	66 (-45 - 358)	0,331	0,847 ^y
44	ΔF fark	-5,73 $\pm$ 4,18	-7,4 $\pm$ 3,81	-4,52 $\pm$ 4,2	-5,85 $\pm$ 4,12	1,448	0,251 ^x
	Δf_{max} fark	-13,13 $\pm$ 9,06	-19,38 $\pm$ 11,57	-13,45 $\pm$ 10,97	-15,33 $\pm$ 10,71	1,197	0,316 ^x
	ΔQ fark	-821,65 (-1702 - -72)	-1142 (-4092 - -171)	-379,5 (-2087 - 24)	-593,5 (-4092 - 24)	4,156	0,125 ^y
	WS Area fark	87,75 $\pm$ 57,33	154,73 $\pm$ 121,19	60,4 $\pm$ 56,24	100,13 $\pm$ 90,91	2,809	0,086 ^x
45	ΔF fark	-7,4 (-11,3 - 0,5)	-7,2 (-12 - 9,7)	-5,05 (-8,9 - 1,9)	-6,7 (-12 - 9,7)	3,768	0,152 ^y
	Δf_{max} fark	-12,1 (-24 - -4)	-13,8 (-30,2 - 27,8)	-9,8 (-20 - 4)	-11,1 (-30,2 - 27,8)	2,623	0,269 ^y
	ΔQ fark	-419,5 (-2317 - -57)	-545 (-3162 - 2574)	-323,9 (-794 - -11)	-382,8 (-3162 - 2574)	1,941	0,379 ^y
	WS Area fark	81,8 $\pm$ 69,23	67 $\pm$ 95,64	40,7 $\pm$ 23,52	61,92 $\pm$ 68,54	1,818	0,198 ^x

^x Tek Yönlü Varyans Analizi; ^y Kruskal Wallis H Testi; Ortalama $\pm$ Standart sapma (minimum-maksimum), ^{a-b} aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur

5.TARTIŞMA

5.1. Çalışmanın Amacı

Şeffaf plaklar, hastaların konforunu ve estetik beklentilerini karşılamalarının yanı sıra, çıkarılabilir özellikleri sayesinde ağız hijyeninin daha kolay sağlanmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, ağız içinde metal parçaların bulunmaması nedeniyle irritasyon riskinin azalması gibi avantajlarıyla hem hastalar hem de ortodontistler tarafından yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Bununla birlikte, literatürde şeffaf plakların etkinliği ve sınırlılıkları konusunda henüz ortak bir görüş birliği bulunmamaktadır.

Hekimin kendi şeffaf plaklarını üretmesi durumunda, plakların maliyeti, şirketlerden satın alınan plaklara kıyasla oldukça ekonomik olmaktadır. Hekim kendi şeffaf plaklarını üretiyorsa, tek bir şeffaf plağın maliyeti yalnızca bir 3 boyutlu model baskısının ve plastik folyo masrafının toplamından oluşmaktadır. Maliyetli yazılımlar söz konusu olduğunda ise, şeffaf plak üretimi için kullanılabilecek yazılımların sayısının artmasıyla birlikte, fiyatların yakın gelecekte hızla düşmesi beklenmektedir. Ayrıca, yazılım lisansı satın alımında yıllık kullanım dışında, aylık veya vaka bazlı ödeme seçenekleri de mevcuttur. Bunun yanı sıra, 3 boyutlu yazıcıların fiyatlarının her yıl daha erişilebilir hale gelmesi, 3 boyutlu yazıcıların artan erişilebilirliğiyle doğrudan ilişkilidir. Yüksek maliyetli yazıcıların yanı sıra, daha ekonomik modellerin de oldukça fazla sayıda bulunması bu süreci desteklemektedir. Son olarak, termoplastik şeffaf plak şekillendirme makineleri, ortodontik aparey üretimiyle ilgilenen birçok klinikte halihazırda bulunmaktadır [123].

Gelişen teknoloji ile birlikte şeffaf plakların direkt üretimi de mümkün olmaktadır. Direkt yöntem ile daha iyi geometrik doğruluk ve hassasiyet, daha iyi uyum, daha

yüksek etkinlik, daha yüksek mekanik direnç ve tekrarlanabilirlik elde edilmektedir [9, 19]. Şeffaf plakların direkt üretimi için bazı materyaller önerilmiştir [19, 20]. Graphy firması tarafından sunulan Tera Harz TC-85 isimli polimer materyal kullanım için uygun özellikler göstermekte ve bulmaktadır. Bu materyalin en önemli özelliklerinden biri de şekil hafızasına sahip olmasıdır.

Direkt yöntem ile üretilen plakların şekil hafıza özelliğine sahip olması sayesinde ağız ısısı sıcaklığında ilk haline geri dönerek kullanıma bağlı oluşan deformasyonlar elimine edilmektedir. Kuvvet seviyesinde kaybın önüne geçilmesi ile diş hareketlerinin etkinliğini artırmakta ve tam olarak yapılmasına olanak sağlamaktadır [13].

Bu tez çalışmasının amacı hekim tarafından direkt ve indirekt yöntemlerle üretilen şeffaf plakların sabit ortodontik tedavi ile verimlilik, tedavi süresi, beyaz nokta lezyonları açısından karşılaştırılmasıdır. Günümüzde yeni üretim teknolojisiyle elde edilen bu şeffaf plakların, ısıyla şekillendirilmiş şeffaf plaklar ve sabit ortodontik tedavi ile verimlilik açısından karşılaştırılması, mevcut malzeme çeşitliliğinin artırılması ve bu yeni üretim tekniğinin klinik kullanıma uygunluğunun değerlendirilmesi bakımından önem taşımaktadır.

Literatürde şeffaf plaklar ile sabit ortodontik tedavinin etkinliğini karşılaştıran çalışmalar bulunmakla birlikte, hekim tarafından direkt ve indirekt yöntemlerle üretilen şeffaf plakların karşılaştırılmasına yönelik çalışmalar sınırlıdır. Bu tez çalışması, söz konusu eksikliği gidermeyi ve bu alanda bir açıklık getirmeyi amaçlamaktadır.

5.2. Bireyler ve Yöntem

5.2.1. Bireylerin Seçilme Kriterleri

Gruplardaki hasta sayısı, G*Power (Ver. 3.1.9.7, Heinrich Heine University, Düsseldorf, Almanya) güç analiz programı kullanılarak, 2020 yılında The Angle Orthodontist dergisinde yayımlanan “Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions” başlıklı makaledeki [117] ortodontik tedavi başlangıcı ve bitiş arasındaki tedavi süresi verilerine dayandırılmıştır. Yapılan ANOVA: Repeated measures, between-factors test analizi sonucunda, $\alpha=0,05$, $d=1,12765$ ve %90 güç ile

her grupta 12 hasta olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmamızda toplamda 36 hasta dâhil edilmiştir. Ancak tedavi sürecinde ortaya çıkan kooperasyon eksikliği nedeniyle Grup A'da iki hasta ve Grup B'de bir hasta çalışma kapsamından çıkarılmıştır. Bu nedenle, elde edilen veriler üzerinde bir post hoc güç analizi yapılarak gruplar arasındaki sonuçlar arasında anlamlı farkı belirlemek için uygun örneklem büyüklüğü hesaplandı. Post hoc güç analizi sonuçları, çalışmadan ayrılan hastalar dikkate alındığında $\alpha=0,05$, $d=1,12765$ ve %85 güç ile her grupta 10 hastanın yeterli olacağını gösterdi.

Çalışmamıza dahil edilen bireylerin yaş aralığı 12 ile 25 arasındadır. Hastaların, apareylerini gün boyunca kullanabilecek düzeyde bir iş birliği gösterebilecek yaş ve zeka seviyesine sahip olmaları gerekmektedir. Vlaskalic ve Boyd, şeffaf plakların etkinliğini inceledikleri çalışmalarında, yaşları 14 ile 52 arasında değişen bireyleri çalışma grubuna dahil etmişlerdir [124]. Benzer şekilde, Kravitz ve çalışma arkadaşları da Invisalign plaklarının etkinliğini değerlendirdikleri çalışmalarında, yaş ortalaması 31 olan bireyler üzerinde araştırmalarını gerçekleştirmiştir [125]. Kravitz ve çalışma arkadaşlarının 2008 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada ise, katılımcılar ortalama yaşı 29,4 olan bireylerden oluşmaktadır [126].

Kravitz ve çalışma arkadaşlarının yaptığı çalışmada, şeffaf plaklarla gerçekleştirilen en zor hareketin ekstrüzyon olduğu vurgulanmıştır. Özellikle maksiller ve mandibular kesici dişlerde ekstrüzyon hareketinin uygulanmasının oldukça güç olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, özellikle kaninler ve maksiller lateral dişler için rotasyon hareketinin gerçekleştirilmesinin de zorluk oluşturduğu ifade edilmiştir [125]. Standardizasyonun sağlanması ve şeffaf plaklardaki ekstrüzyon ve rotasyon hareketlerindeki zorluklar dolayısıyla ağızda süt dişlerinin bulunmayan ve daimi dişleri sürmüş hastalar seçilmiştir.

Kök hareketleri gerektiren dişlerin dikleştirilmesi, şeffaf plak tedavileri açısından zorlu ve öngörülebilirliği düşük bir diş hareketi olarak değerlendirilmektedir. Dai ve çalışma arkadaşlarının Invisalign şeffaf plakları ile diş çekimli ortodontik tedavi yapılan vakalar üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalara göre, diş çekimine komşu molar dişler tedavi planında öngörülen gövdesel translasyon hareketini tam anlamıyla gerçekleştirememekte, bunun yerine daha çok mesial tipping eğilimi

göstermektedir. Ayrıca, bu durum kök kontrolünde problemlere yol açmaktadır [127]. Çekimsiz tedavi planlanan hastalar çalışmaya dahil edilmiştir.

Weir, plaklar ile hareketlerin öngörülebilirliğini değerlendirdiği bir tabloda, ark başına 6 mm'ye kadar olan çapraşıklık veya diastemayı "kolay" olarak sınıflandırmıştır [5]. Moderate çapraşıklığa sahip hastalar dahil edilmiştir.

Gruplar arası standardizasyonun sağlanabilmesi ve yalnızca ortodontik tedavi uygulanmasının mümkün kılınması amacıyla, çalışmamıza herhangi bir baş ve yüz (kraniyofasiyal) anomalisi bulunmayan, iskeletsel Sınıf I maloklüzyona ve normal vertikal büyüme yönüne sahip hastalar dahil edilmiştir.

ABO-OGS ve QLF analizinde tüm dişlerin eksiksiz bir şekilde değerlendirilebilmesini sağlamak amacıyla, ağız içinde konjenital diş eksikliği bulunan, çekilmiş daimi dişlere sahip olan, restore edilmemiş çürükleri bulunan veya atipik formda dişleri olan hastalar çalışmaya dahil edilmemiştir [128].

Van Gastel, ortodontik braketler, bantlar ve sabit apareyler yerleştirildiğinde dental plak miktarının arttığını ve çoğu hastada, hatta ağız hijyeni iyi olan bireylerde bile, apareylerin yerleştirilmesinin ardından dişeti hastalığının geliştiğini belirtmiştir [129]. Çalışmamızda ağız hijyenleri iyi seviyede ve periodontal dokuları sağlıklı bireyler dahil edilmiştir.

Hastaların plakları verilen talimatlara uygun şekilde kullanabilmeleri ve ağız hijyenlerini doğru bir şekilde sürdürebilmeleri için, çalışmaya dahil edilen bireylerin genel sağlık durumları açısından herhangi bir sistemik rahatsızlığa sahip olmamalarına ve dental materyallere karşı alerjilerinin bulunmamasına özen gösterilmiştir.

Krishnan ve arkadaşları kserostominin, ağız hijyeninin düzgün bir şekilde sağlanmasını olumsuz etkileyebileceğini ve bu durumun, çürük ve periodontitis riskini artırabileceğini bildirdirmiştir [130]. Çalışmamızda kserostomi olan bireyler dahil edilmemiştir.

Mizrahi ve arkadaşları ortodontik tedavi öncesi ve sonrasında hastalarda mine deminerilizasyon prevalansı ve şiddetini belirlemek amacıyla kesitsel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında, ortodontik tedavi öncesinde 527, tedavi

tamamlandıktan sonra ise 269 hasta değerlendirilmiştir. Sonuçlar, ortodontik tedavi sonrasında mine opasitelerinin hem prevalansında (tedavi öncesi %72,3; tedavi sonrası %84,0) hem de şiddetinde (Opasite İndeksi: tedavi öncesi 0,125; tedavi sonrası 0,200) anlamlı bir artış olduğunu göstermiştir. Çalışmamızda ABO OGS skorunu değiştirmesi ve minede deminerilizasyon oluşumu nedeniyle daha önce ortodontik tedavi gören hastalar dahil edilmemiştir.

5.2.2.Şeffaf Plak Apareylerinin Seçilmesi

Yetişkin ortodontisine yönelik artan talep, estetik açıdan daha avantajlı olan ortodontik apareylere olan ilgiyi de artırmıştır. Geleneksel metal braketler, çevresinde plak birikimine neden olarak çürük oluşum riskini yükseltmekte ve gingivitis ile periodontitis gibi periodontal hastalıklara yol açabilmektedir. Bu durum, ortodontik tedavi sürecinde yalnızca estetik kaygılara değil, aynı zamanda ağız sağlığının bozulmasına da neden olmaktadır. Bu sorunun önüne geçmek amacıyla, sabit braket ve tellerin yerine kullanılabilecek alternatif bir yöntem olarak şeffaf plaklar geliştirilmiştir. Şeffaf plaklar, kolayca takılıp çıkarılabilme özellikleri sayesinde hasta konforunu artırmakta ve çiğneme fonksiyonunu olumsuz etkilememektedir. Bu avantajları nedeniyle, yetişkin bireylerde ortodontik tedavi uygulamalarında yaygın bir şekilde tercih edilmektedir [7].

Günümüzdeki şeffaf plak üreticilerinin çoğu, modifiye edilmiş polietilen tereftalat glikol (PETG) kullanmaktadır. Bununla birlikte, polipropilen, polikarbonat, termoplastik poliüretanlar, kopolister ve birçok başka malzeme de şeffaf plak üretiminde tercih edilmektedir.[7] Çalışmamızda indirekt olarak üretilen şeffaf plak grubunda polietilen tereftalat glikol (PETG) yapısına sahip CA® Pro+, 0.75x120 mm (SCHEU-DENTAL, GmbH, Iserlohn, Germany) şeffaf plak folyosu kullanılmıştır.

Şeffaf plakların üretiminde kullanılan malzemenin bileşimi plakların klinik performansını etkiler [15, 16]. İndirekt üretim tekniğinde uygulanan termoform işlemi kullanılan materyalin mekanik, boyutsal ve estetik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [7, 17, 18]. Direkt yöntem ile daha iyi geometrik doğruluk ve hassasiyet, daha iyi uyum, daha yüksek etkinlik, daha yüksek mekanik direnç ve tekrarlanabilirlik elde edilmektedir [9, 19]. Şeffaf plakların direkt üretimi için bazı materyaller önerilmiştir [19, 20]. Graphy firması tarafından sunulan TeraHarz TC-85

isimli polimer materyal kullanım için uygun özellikler göstermektedir. Bu materyalin en önemli özelliklerinden biri de şekil hafızasına sahip olmasıdır. Şekil hafızalı malzemeler, uygun bir uyarının uygulanması üzerine makroskopik şekillerinde bir değişiklik gösterebilen akıllı malzemelerin bir alt kümesini oluşturur; bu geçici şekli kararlı bir şekilde korur ve başka bir uyarının yeniden uygulanmasıyla (ağız ısısı gibi) orijinal şekline geri döner [21, 22]. Termal uyarılara yanıt veren Şekil hafızalı malzemelerdeki mekanizma, geçiş sıcaklığının altında ve üstünde polimer zincirlerinin aktive ve de aktive olması ile çalışır [23-25]. Geçiş sıcaklığına ulaşıldığında, deforme olmuş şekil hafızalı malzeme, orijinal şekline geri dönmek için elastik bir özellik gösterir ve bu şekil geri kazanımı, ortodontik diş hareketini sağlar [26]. Şekil hafızalı malzemeler düşük yoğunluk, önemli ölçüde elastik deformasyon ve yüksek kimyasal kararlılık gösterebilir ayrıca ayarlanabilir fiziksel özellikler gösterecek şekilde programlanabilir. Bu özellikler onları yeni bir şeffaf hizalayıcı malzeme olarak kullanılmaya çok uygun hale getirir ve sonuçta ortaya çıkan hizalayıcı, önemli oranda kendi şeklini geri kazanma potansiyeli sergiler [23, 26]. Direkt yöntem ile üretilen plakların şekil hafıza özelliğine sahip olması sayesinde ağız ısısı sıcaklığında ilk haline geri dönerek kullanıma bağlı oluşan deformasyonlar elimine edilmektedir. Kuvvet seviyesinde kaybın önüne geçilmesi ile diş hareketlerinin etkinliğini artırmakta ve tam olarak yapılmasına olanak sağlamaktadır [13]. Çalışmamızda direkt üretilen şeffaf plak gurubunda TeraHarz TC-85 (Graphy Inc) reçinesi kullanılmıştır.

Çalışmamızda, sabit ortodontik tedavi grubu, ortodontik tedavilerde yaygın olarak tercih edilen bir yöntem olması ve altın standart olarak kabul edilmesi nedeniyle kontrol grubu olarak dâhil edilmiştir.

5.2.3 Yazılım Programı ve 3 Boyutlu Yazıcının Seçilmesi

Ortodontik tedavi, önemli bir konu olup, diş tellerinin uygulanması hem ağırlı hem de estetik açıdan rahatsız edici olabilmektedir. Bu nedenle, geleneksel diş tellerinden şeffaf plaklara doğru bir geçiş yaşanmaktadır. Günümüzde, diş hareketlerinin dijital olarak manipüle edilmesine ve şeffaf plakların tasarlanmasına olanak tanıyan çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Ortodontik tedaviye olan talebin artması, tedavi planlarının daha verimli oluşturulmasını sağlayan yazılımların hızla gelişmesine

neden olmuştur [131]. Bajaj ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Maestro 3D Ortho Studio yazılımında doğrudan 3 boyutlu yazıcı ile baskı alınmakta ve maksilla ile mandibulanın üç boyutlu modelinin oluşturulmasına gerek duyulmamaktadır. Çalışmamızda yukarıdaki avantajlar nedeniyle Maestro 3D Ortho Studio yazılımı kullanılmıştır.

D'haese ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada alt çenede birinci molar diş eksikliğini gidermek amacıyla 15 implantın sanal planlaması, kılavuzlu implant cerrahisi için kullanılan bir planlama yazılımı (Exoplan, Exocad) aracılığıyla yapılmıştır. Diş destekli bir cerrahi kılavuz tasarlanmış ve masaüstü bir 3D yazıcı (Asiga MAX UV) kullanılarak üretilmiştir. Asiga MAX UV yazıcı ile üretilen diş destekli cerrahi kılavuzlar, tek implant yerleştirilmesinde kabul edilebilir uyum ve doğruluk seviyeleri gösterdiği bulunmuştur [132]. Nestler ve arkadaşlarının yaptığı, farklı ekstrüzyon ve fotopolimerizasyon tabanlı yazıcılar kullanılarak üretilen modellerin doğruluğunun araştırıldığı bir çalışmada Asiga MAX UV, tüm mesafeler dikkate alındığında en yüksek doğruluğu göstermiştir [133]. Çalışmamızda hem indirekt hem de direkt yöntemle üretim sağlanabilmesi nedeniyle Asiga MAX UV yazıcısı tercih edilmiştir.

5.2.4 Dental Modellerin Analizi

Ortodontik tedavinin objektif bir şekilde değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi, çeşitli ortodontik indeksler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla geliştirilen indeksler, dişlerin ve dental arkların birbirleriyle olan ilişkilerini sayısal verilerle ifade etmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Örnek olarak, tedavi zorluk, sonuç ve ihtiyaç indeksi [134], PAR indeksi ve American Board of Orthodontics (ABO) tarafından oluşturulan objektif derecelendirme sistemi (OGS) bu değerlendirme yöntemleri arasında yer almaktadır.

Ortodontik tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi, tedavi hedeflerinin ve standartlarının belirlenmesine katkı sağlayarak, tedavisi tamamlanan hastalar için objektif ve ölçülebilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmaktadır [135]. Objektif derecelendirme sistemi (OGS), bitim modelleri ve panoramik radyografilere dayalı olarak tedavi sonuçlarını sayısal olarak değerlendirmede güvenilir ve geçerli bir indeks olarak kabul edilmektedir [136]. Ayrıca, tedavi sonuçlarını değerlendirmede

en kapsamlı indekslerden biri olup, ölçülebilir kriterler sunarak objektif bir değerlendirme sağlamaktadır [137]. Bu indeksi sağlayan kurum, klinisyenlerin kendi vakalarını değerlendirebilmeleri için bir kontrol listesi yayınlamıştır. Literatürde OGS kullanılarak tedavi sonuçlarının değerlendirildiği birçok çalışma bulunmaktadır [138-140].

Onyeaso ve Begole, çalışmalarında ortodontik tedavi ihtiyacını ve tedavi sonuçlarını değerlendirmede kullanılan dört farklı indeksi karşılaştırmış ve bu indeksler arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Araştırmada, ICON, DAI, PAR indeksi ve Objektif Derecelendirme Sistemi (OGS) ele alınmış, Chicago Illinois Üniversitesi ortodonti kliniğinden rastgele seçilen 100 tedavi bitim modeli değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, OGS'nin ortodontik tedavi sonuçlarını ölçmede, PAR ve ICON'a kıyasla daha sıkı kriterler gerektirdiğini ortaya koymuştur [141]. Qasem, tez çalışmasında 120 vakanın tedavi başlangıç ve bitim modellerini ICON, PAR ve OGS indeksleri kullanarak değerlendirmiştir. Çalışma bulguları, OGS indeksinin tedavi sonuçlarını ölçmede daha hassas ve objektif bir değerlendirme sunduğunu göstermiştir [142]. Çalışmamızda OGS indeksi kullanılarak tedavi verimliliği değerlendirilmiştir.

5.2.5 QLF Kayıtlarının Elde Edilmesi ve Beyaz Nokta Lezyonlarının Değerlendirilmesi

Ortodontik tedavi sürecinde en sık karşılaşılan yan etkilerden biri beyaz nokta lezyonlarının oluşumudur. Sabit ortodontik apareylerin kullanımı, hastaların ağız hijyenini etkin bir şekilde sağlamasını zorlaştırabilmektedir. Yapılan araştırmalar, sabit ortodontik tedavi gören bireylerde beyaz nokta lezyonu gelişme oranının %2 ile %96 arasında değiştiğini ortaya koymuştur [143]. Daha güncel çalışmalar ise bu oranın %45–55 seviyelerine ulaştığını göstermektedir [144]. Beyaz nokta lezyonları, mine tabakasında meydana gelen demineralizasyonun ilk evresi olup, dişlerde opak görünüm ve translusens kaybı şeklinde kendini gösterebilmektedir [145]. Beyaz nokta lezyonlarının nicel olarak değerlendirilmesi için kantitatif ışık kaynaklı florans (QLF) ve dijital fotoğrafların görsel analizi gibi non-invaziv teknikler önerilmektedir. QLF yöntemi, demineralizasyonun yerini, yayılımını ve şiddetini niteliksel ve niceliksel olarak değerlendirmeye olanak tanımaktadır [146]. Bu yöntem, sağlıklı ve demineralize mine dokusunun farklı florans özelliklerine dayanır.

Sağlıklı dişler daha az ışık saçtığından, QLF yazılımında parlak yeşil florans olarak görüntülenir. Buna karşılık, çürük belirtileri gösteren dişlerde ışık saçılımı artmakta ve bu durum, florans seviyesindeki azalma ile yazılımda görselleştirilmektedir. Floransta meydana gelen azalmanın derecesi, çürüğün şiddetini belirlemek için bir gösterge olarak kullanılabilir [146]. Literatürde yapılan araştırmalar, QLF yönteminin beyaz leke lezyonlarının teşhisinde yüksek duyarlılığa sahip, objektif ve etkili bir değerlendirme aracı olduğunu ortaya koymuştur [146-148]. Bu doğrultuda, çalışmamızda beyaz leke lezyonlarının analizinde QLF yöntemi tercih edilmiştir. Çalışmamızda, farklı tedavi yaklaşımlarının tedavi süresi boyunca beyaz leke lezyonu oluşumu üzerindeki etkisini belirlemek için, hastalardan tedavi başlangıcında ve tedavi sonunda QLF ölçümleri alınmıştır. Mevcut literatür incelendiğinde, QLF analizine yönelik yapılan birçok çalışmada Delta F, Delta F Maksimum, Delta Q ve Lezyon Alanı gibi parametrelerin kullanıldığı görülmektedir [145, 149]. Bu doğrultuda, çalışmamızda da beyaz leke lezyonlarının değerlendirilmesi için aynı dört parametre temel alınmıştır.

5.3.Bulguların Tartışılması

5.3.1.ABO OGS Değerlerinin Karşılaştırılması

Tedavi sonrası hasta kayıtlarını objektif olarak değerlendirmek ve her tedavi yönteminin etkinliğini ölçmek amacıyla OGS (Objective Grading System) kullanılmıştır. Sonuçlar, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını göstermiştir. Ortalama OGS skorları Grup A (direkt üretim) için 14,4, Grup B (indirekt üretim) için 14,09 ve sabit ortodontik tedavi grubu için 12,08 olarak hesaplanmıştır. Sabit ortodontik tedavi grubunun, klinik olarak in-house üretilen şeffaf plaklara kıyasla daha iyi bir OGS skoru elde etmesine rağmen, bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu bulgu, sabit apareylerin OGS kriterlerine göre daha başarılı bir tedavi sağladığını göstermekle birlikte, in-house şeffaf plaklarla elde edilen sonuçların da benzer düzeyde kabul edilebilir olduğunu düşündürmektedir.

İstatistiksel olarak anlamlı olmasa da en düşük skoru sabit ortodontik tedavi grubunda (Grup-C) görülmesi, sabit ortodontik tedavinin ortodontik tedaviler için altın standart olarak kabul edilmesi görüşüyle uyumludur.

Parekh ve arkadaşlarının yaptığı şeffaf plaklar ve sabit ortodontik tedavinin tedavi sonuçlarının değerlendirildiği çalışmada ABO-OGS skorları açısından sabit ortodontik tedaviyi daha avantajlı göstermiştir [150]. Çalışmamızda istatistiksel olarak anlamlı olmasa da sabit ortodontik tedavi grubu ortalama OGS skorunda eni iyi sonucu elde etmiştir.

Gaffuri ve ark. [151], çalışmamıza benzer şekilde şeffaf plaklar ve sabit ortodontik tedavi yöntemlerinin tedavi sonrasında OGS kategorilerinin toplam ortalama skorlarını iyileştirdiğini ve iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını rapor etmiştir.

Ke ve arkadaşlarının yaptığı toplam 8 makalenin dâhil edildiği bir meta-analizde, çalışmamıza benzer şekilde ABO-OGS skoru açısından şeffaf plaklar ile sabit ortodontik tedavi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir [152].

Lin ve arkadaşları tarafından 2022 yılında yapılan Invisalign ve geleneksel sabit apareyler arasındaki tedavi sonuçlarının karşılaştırıldığı bir randomize kontrollü çalışmada, çalışmamıza benzer şekilde tedavi sonrası OGS skorlarındaki değişim açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir [153].

Pinskaya ve arkadaşları [154] çalışmalarında, araştırmamızla benzer şekilde, diğer oklüzal bileşenlerle karşılaştırıldığında overjet skorunun en yüksek değer olduğunu (4.06 ± 3.11) belirlemişlerdir. Ayrıca, interproksimal kontaklar en düşük skora sahip bileşen olarak tespit edilmiştir (0.84 ± 1.35). Bizim çalışmamızda ABO-OGS/CRE sisteminin oklüzal komponentleri tüm gruplarda değerlendirildiğinde en yüksek skor overjet skorunda ($2,42 \pm 1,23$), en düşük skor ise interproksimal kontakların skorunda ($0 (0 - 2)$) bulunmuştur.

Djeu ve arkadaşlarının Invisalign ve sabit ortodontik tedaviyi karşılaştırdıkları çalışmada, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir [136]. Ortalama OGS skoru, Invisalign grubunda 45.35, sabit ortodontik tedavi grubunda ise 32.21 olarak hesaplanmıştır [136]. Çalışmamızda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamasının, tedavi planlamasının hekim tarafından yapılmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Diş hareket tiplerinin

ve biyomekanik prensiplerin bilinmesi, daha tutarlı bir tedavi planı oluşturulmasına katkı sağlamakta ve bu durum, şeffaf plak tedavisinde daha başarılı sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyabilmektedir.

Yine Djeu ve arkadaşları OGS kategorilerinin yarısında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Invisalign ve sabit ortodontik apareyler, sıralanma, marjinal kenar uyumu, interproksimal kontaklar ve kök eğimi açısından benzer skorlar elde etmiştir [136]. Çalışmamızda, Djeu ve arkadaşlarının bulgularına benzer şekilde, sıralanma, marjinal kenar uyumu ve interproksimal kontaklar açısından anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. İn-House İndirekt şeffaf plak grubu (Grup B) ile Sabit ortodontik tedavi grubu (Grup C) arasında Djeu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya benzer şekilde anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bununla birlikte, İn-House Direkt Şeffaf Plak Grubu (Grup A) ile Sabit Ortodontik Tedavi Grubu (Grup C) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmıştır. Kök hareketi sağlamak, ortodontik tedavide zorlu bir süreç olup, kullanılan apareyin ürettiği kuvvetlerin büyüklüğü ve tutarlılığı bu süreçte belirleyici bir faktördür. Hertan ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, doğrudan baskı yöntemiyle üretilen şeffaf plaklar ile termoform yöntemiyle üretilen plaklar karşılaştırılmış ve doğrudan baskı yöntemiyle üretilen plakların daha tutarlı ve daha düşük büyüklükte kuvvetler sağladığı belirtilmiştir [155]. Ancak, söz konusu çalışma in-vitro olarak gerçekleştirilmiş olup, bu bulguların doğrulanması için in-vivo çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle, düşük büyüklükteki kuvvetlerin kök hareketi oluşturma kapasitesi halen tartışmalı bir konudur.

Li ve arkadaşları, şeffaf plaklar ve sabit ortodontik tedavi gruplarında tedavi sonrası OGS kategorilerinin toplam ortalama skorlarında iyileşme olduğunu belirtmiştir. Hizalanma, marjinal sırtlar, oklüzal ilişkiler, overjet, interproksimal kontaklar ve kök açılanması açısından her iki grup da olumlu sonuçlar göstermiştir. Ancak, bukkolingual inklinasyon ve oklüzal temaslar açısından sabit ortodontik tedavinin Invisalign'a kıyasla anlamlı derecede daha iyi sonuçlar sağladığı bildirilmiştir [156]. Çalışmamızda ise bukkolingual inklinasyon ve oklüzal temaslar açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Li ve arkadaşları çalışmalarını çekimli vakalar üzerinde gerçekleştirmiştir. Çekimli vakalarda posterior dişlerin ankraj kontrolü ve yer değiştirmeleri nedeniyle bukkolingual inklinasyonun ve

oklüzal temasların tam olarak sağlanamaması muhtemeldir. Buna karşın, çalışmamız çekimsiz tedavi planına sahip vakalar üzerinde yürütülmüştür. Ankraj kontrolünün daha kolay sağlanabilmesi ve posterior dişlerde yer değiştirmenin daha sınırlı olması, dişlerin bukkolingual inklinasyonu ve oklüzal temaslarında daha başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamış olabilir.

Jaber ve arkadaşları, klinik ortamda üretilen (in-house) şeffaf plakları geleneksel sabit ortodontik apareylerle karşılaştırmış ve üst ve alt çeneler için Little Irregularity Index (LII) skorları açısından gruplar arasında anlamlı bir fark tespit etmemiştir. Ayrıca, tüm incelenen PAR (Peer Assessment Rating) indeks kategorilerinde de iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır [157]. Şeffaf plak grubunda ortalama skor azalması 28.39 ± 8.51 puan, sabit ortodontik tedavi grubunda ise 26.39 ± 5.76 puan olarak belirlenmiştir. Her iki gruptaki hastaların %100'ünde tedavi sonrası iyileşme gözlemlenmiştir [157]. Sonuç olarak uygun diş hareketi protokolü uygulandığında, klinik ortamda üretilen in-house şeffaf plaklar, kompleks ortodontik vakaların tedavisinde sabit apareyler kadar etkili olabilir ve iyi bir oklüzyon sağlanabileceği belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda OGS indeksine göre gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Benzer şekilde in-house üretilen şeffaf plakların sabit apareyler kadar etkili olacağını düşünmekteyiz.

Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular direkt yöntemle üretilen plakların tedavi etkinliği açısından indirekt yöntemle benzer olduğunu göstermektedir. Şeffaf plakların üretiminde kullanılan malzemenin bileşimi plakların klinik performansını etkiler [15, 16]. İndirekt üretim tekniğinde uygulanan termoform işlemi kullanılan materyalin mekanik, boyutsal ve estetik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [7, 17, 18]. Direkt yöntem ile daha iyi geometrik doğruluk ve hassasiyet, daha iyi uyum, daha yüksek etkinlik, daha yüksek mekanik direnç ve tekrarlanabilirlik elde edilmektedir [9, 19]. Çalışmamızda kullanılan TeraHarz TC-85 isimli polimer materyal kullanım için uygun özellikler göstermekte ve bulmaktadır. Bu materyalin en önemli özelliklerinden biri de şekil hafızasına sahip olmasıdır. Direkt yöntem ile üretilen plakların şekil hafıza özelliğine sahip olması sayesinde ağız ısısı sıcaklığında ilk haline geri dönerek kullanıma bağlı oluşan deformasyonlar elimine edilmektedir. Kuvvet seviyesinde kaybın önüne geçilmesi ile diş hareketlerinin etkinliğini

artırmakta ve tam olarak yapılmasına olanak sağlamaktadır [13]. Diş hekimliğinde kullanılan malzemelerden kaynaklanan atıklar, çevre üzerinde olumsuz etkilere sahiptir [9]. Doğrudan baskı yöntemi, minimum çevresel atık üretimi ile daha sürdürülebilir bir yaklaşım sunmakta olup, aynı zamanda daha kısa tedarik zinciri, firmalar tarafından sağlanan plaklara kıyasla daha kısa teslim süresi ve daha düşük maliyetler gibi ek avantajlar sağlamaktadır [72]. Direkt üretim, şeffaf plak üretiminde yenilikçi bir teknik olup, üç boyutlu yazıcı teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte giderek daha fazla benimsenmektedir. Bu yöntemin sunduğu hızlı üretim süreci, daha düşük maliyetler ve çevresel sürdürülebilirlik gibi avantajlar, gelecekte şeffaf plak üretiminde dolaylı (indirekt) yöntemin yerini alabileceğini düşündürmektedir. Teknolojik gelişmelerin devam etmesiyle, direkt baskı yönteminin hem üretim sürecinde hem de klinik uygulamalarda daha yaygın ve tercih edilen bir alternatif haline gelmesi olasıdır.

Knode ve arkadaşları tarafından 2025 yılında yayınlanan direkt üretim şeffaf plakların etkinliğinin değerlendirildiği bir çalışmada, PAR skorunun %86.6'lık bir iyileşme gösterdiği bulunmuştur [158]. Bu çalışmada, bizim çalışmamızda kullandığımız direkt in-house şeffaf plak grubunda (Grup A) kullanılan Tera Harz TC-85 reçinesi tercih edilmiştir. Çalışmamızda da OGS skorlarındaki değişimler bu çalışmaya benzerlik şeklinde iyileşmiştir.

Migliorati ve arkadaşları tarafından yayınlanan, direkt baskı ile üretilen şeffaf plakların ortodontik hareketlerdeki doğruluğunun araştırıldığı bir çalışmada in-house olarak direkt üretilen şeffaf plakların hafif çapraşıklık vakalarında başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve diğer şeffaf plak sistemleriyle karşılaştırılabilir diş hareketi doğruluğu sağladığı sonucuna varılmıştır [159]. Çalışmamızda OGS skorlarında aldığımız bulgular Migliorati ve arkadaşlarına benzer şekildedir.

Viet ve arkadaşları tarafından 2024 yılında yayımlanan ve sınıf II düzeltilmesi ile çapraşıklık tedavisinde in-house direkt üretilen şeffaf plakların kullanımını değerlendiren çalışmada, bu yöntemin geleneksel sabit apareylere kıyasla hastalara daha konforlu ve estetik bir alternatif sunduğu ve ortodontik tedavide umut verici bir gelişme olarak değerlendirildiği belirtilmiştir [160].

5.3.2. Toplam Tedavi Süresinin Karşılaştırılması

Çalışmamızda İn House Direkt şeffaf plak grubunda (Grup A) ortalama tedavi süresi 6,26 ay, İn House İndirekt şeffaf plak grubunda (Grup B) 7,92 ay, sabit ortodontik tedavi grubunda (Grup C) 9,88 ay olarak elde edilmiştir. İki şeffaf plak grubu arasında ve İn House İndirekt şeffaf plak grubu ile (Grup B) sabit ortodontik tedavi grubu (Grup C) arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup A) ile sabit ortodontik tedavi grubu (Grup C) arasında anlamlı bir fark bulunmuştur.

Literatürde şeffaf plak tedavisinin sabit ortodontik tedavi ile toplam tedavi süresi açısından karşılaştırıldığı çalışmalar incelendiğinde farklı sonuçlar bulunabilmektedir. Birçok çalışmada, şeffaf plak tedavisinin sabit ortodontik tedaviye kıyasla daha kısa sürdüğü sonucuna varıldığı görülmektedir [136, 152, 161, 162]. Şeffaf plaklar aynı anda birçok dişin düzeltilmesine olanak sağlayabilirler. Bu avantajı sayesinde tedavi süresinde kısalma beklenebilmektedir. Çalışmamızda her iki şeffaf plak grubunda tedavi süresi sabit ortodontik tedaviye göre kısa sürmüştür. Bulgularımız literatürle uyuşmakla birlikte İn House İndirekt şeffaf plak grubu (grup B) ile sabit ortodontik tedavi grubu (Grup C) arasındaki süre farkı anlamlı bulunmamıştır. Pavoni ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, sabit ortodontik tedavi gören hastalar ile Invisalign şeffaf plak tedavisi uygulanan hastalar tedavi süresi açısından karşılaştırılmış ve her iki grupta da ortalama tedavi süresinin 1,8 yıl olduğu, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir [163]. Çalışmamızda Grup B ile Grup C arasında anlamlı bir fark olmaması, Pavoni ve arkadaşlarının bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

Ke ve arkadaşları tarafından 2019 yılında yapılan şeffaf plak ve sabit aparey tedavilerinin etkinliğinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; şeffaf plaklar, dişlerin segmental hareketlerinde ve tedavi süresinin kısaltılmasında avantaj sağladığı bulunmuştur [152]. Çalışmamızda İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup A) ve sabit ortodontik tedavi grubu (Grup C) arasında tedavi süresinin anlamlı derecede az olması Ke ve arkadaşlarının bulgularına benzerlik göstermektedir.

Gu ve arkadaşları tarafından yapılan, Invisalign ile sabit ortodontik tedavinin karşılaştırıldığı çalışmada ortalama olarak, Invisalign ile tedavi edilen hastalar sabit

apareylerle tedavi edilenlere kıyasla tedaviyi 5.7 ay daha erken tamamladığı bulunmuştur [161]. Çalışmamızda İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup A) ve sabit ortodontik tedavi grubu (Grup C) arasında tedavi süresinin anlamlı derecede az olması Gu ve arkadaşlarının bulgularına benzerlik göstermektedir.

Zheng ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan şeffaf plakların verimliliği, etkinliği ve tedavi stabilitesinin değerlendirildiği bir meta-analizde; şeffaf plaklar hafif ve orta dereceli vakalarda klinikte geçen süre ve tedavi süresi açısından önemli bir avantaja sahip olduğu bulunmuştur [61]. Çalışmamızda İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup A) ve sabit ortodontik tedavi grubu (Grup C) arasında tedavi süresinin anlamlı derecede az olması Zheng ve arkadaşlarının bulgularına benzerlik göstermektedir.

Djeu ve arkadaşları tarafından yapılan Invisalign ve sabit ortodontik tedavinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; Invisalign ile tedavi edilen hastalar, ortalama olarak sabit apareylerle tedavi edilenlere kıyasla tedaviyi 4 ay daha erken tamamladığı bulunmuştur [136]. Çalışmamızda İn House Direkt şeffaf plak grubu (Grup A) ve sabit ortodontik tedavi grubu (Grup C) arasında tedavi süresinin anlamlı derecede az olması Djeu ve arkadaşlarının bulgularına benzerlik göstermektedir.

Özsaygılı ve Yağcı'nın çalışmasında, EonAligner ve Clearfix şeffaf plakları ile tedavi edilen hastaların toplam tedavi sürelerinin sırasıyla 7 ay ve 5,2 ay olduğu bildirilmiştir [164]. Bu bulgular, çalışmamızdaki şeffaf plak gruplarında elde edilen toplam tedavi süreleriyle uyum göstermektedir.

Li ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada şeffaf plaklarla tedavi süresinin sabit aparey tedavisine kıyasla %44 daha uzun olduğunu bulunmuştur [156]. Bu sonuç çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular ile uyumlu değildir. Bu farklılığın Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmasında çekimli vakalarda olmasından kaynaklı olduğunu düşünüyoruz. Bizim çalışmamızda çekimsiz tedavi planı olan vakalar çalışmaya dâhil edilmiştir.

5.3.3. QLF Bulgularının Tartışılması

Çalışmamızda tedavi zamanı 4 farklı QLF parametresindeki (Delta F (ΔF), Delta F Maksimum (ΔF_{max}), Delta Q (ΔQ) ve Lezyon Alanı (WS Area)) değişim miktarı gruplar arasında karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu parametrelerde 13,14,24,25

ve 31 numaralı dişlerde anlamlı fark olduğu görülmüştür. 13, 14, 24, 25 ve 31 numaralı dişlerde değerler İn House İndirekt şeffaf plak grubunda (Grup B) daha yüksek bulunmuştur. Fark görülen dişlerin çoğunluğunun maksillar arkta görülmesinin sebebi olarak tükürüğün çürük lezyonlarına karşı koruyucu etkisinden mandibular dişlerin daha fazla yararlanması düşünülmüştür [165].

Sabit apareylerle uygulanan ortodontik tedavinin en yaygın olumsuz yan etkilerinden biri, braketler ve bantlar etrafında başlangıç aşamasındaki çürük lezyonlarının gelişimidir. Braketler, bantlar ve teller gibi bileşenlerin pürüzlü yüzeyleri, ağız kaslarının hareketi ve tükürük akışı gibi doğal temizleme mekanizmalarını sınırlayarak bakteriyel plağın birikmesine zemin hazırlamaktadır [166]. Şeffaf plak tedavisinde ise, plakların çıkarılabilmesi sayesinde ağız hijyeninin daha etkin bir şekilde sağlanabileceği bildirilmektedir [167]. Ancak, sabit ortodontik tedaviye kıyasla bakteriyel plağın tutunabileceği retansiyon alanları daha az olsa da şeffaf plakların farklı mekanizmalarla beyaz nokta lezyonlarının oluşumuna neden olabileceği belirtilmiştir. Son araştırmalar, şeffaf plak kullanımının oral mikroflorayı ve onun metabolik süreçlerini değiştirebileceğini, bunun da ağızda mikro ekolojik bir dengesizliğe yol açarak mine demineralizasyonuna neden olabileceğini göstermektedir [168]. Şeffaf plakların uzun süreli kullanımı sonucunda, supragingival ve subgingival plak biyofilmlelerinde çürükle ilişkili Streptococcus ve Actinobacillus gibi bakterilerin seviyelerinde belirgin bir artış gözlemlenebilmektedir [169]. Ayrıca, plakların uzun süreli kullanımı ve diş yüzeyinin geniş bir alanını kapsamaması nedeniyle, tükürüğün doğal temizleme işlevi sınırlanabilmekte ve bu durum mine demineralizasyonunu tetikleyen önemli bir faktör olabilmektedir [170]. Çalışmamızda yukarıda bahsedilen durumlardan dolayı İn House İndirekt şeffaf plak grubunda (Grup B) Delta F (ΔF), Delta F Maksimum (ΔF_{max}), Delta Q (ΔQ) parametrelerinde farklılık oluştuğunu düşünmekteyiz. Literatürde direkt üretilen şeffaf plaklar ile beyaz nokta lezyonlarının değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Castroflorio ve arkadaşları tarafından 2023 yılında yapılan; şeffaf plaklarla ortodontik diş hareketlerinin öngörülebilirliğinin değerlendirildiği bir çalışma yapılmıştır. Öngörülen ve elde edilen diş konumları arasındaki en büyük farklılıklar, yuvarlak şekle sahip dişlerin açısız hareketleri ve rotasyonlarında gözlemlendiği ve

belirtilen her 1°'lik hareket için ortalama 0.4°'lik bir fark olduğu bildirilmiştir [171]. Çalışmamızda 13, 14, 24 ve 25 numaralı dişlerde fark görülmüştür. Yuvarlak şekilli dişlerde rotasyon hareketinin zor olmasından kaynaklı olarak bu dişlerde ataşman kullanılmıştır. Çalışmamızda alt çene dişlerinde en sık 31 numaralı dişe ataşman uygulanmıştır. Ataşmanların yüzey alanını artırması ve dolayısıyla plak tutunmasını kolaylaştırmasının beyaz nokta lezyonu oluşumunu artırdığını düşünmekteyiz.

Şeffaf plak kullanan hastalarda plakların diş yüzeyini tamamen kaplanmasının etkisi ile normal tükürük akışını engellemesi, tükürüğün tamponlanma ve remineralize edici özelliklerinin ve ayrıca dudak, yanaklar ve dilin doğal temizleme aktivitelerini sınırlamasıyla açıklanabilir (143). Ayrıca, şeffaf plakların uzun süre temizlenmeden kullanılması, yüzeylerinde plak birikimine yol açarak iç yüzeydeki pH seviyelerinin düşmesine ve karyojenik bakteri düzeylerinin artmasına neden olmaktadır [134].

6. LİMİTASYONLAR

1. Hastaların şeffaf plak kullanım süreleri objektif bir şekilde değerlendirilememiştir.
2. Hastaların ataşman ve braketlerde kırılmalar elimine edilememiştir.

7. SONUÇLAR

Çalışmamızda çekimsiz tedavi planına sahip in-house olarak direkt ve indirekt üretilmiş iki farklı şeffaf plak grubu ve sabit ortodontik tedavi grubu ABO-OGS indeksi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda:

OGS indeksine göre yaptığımız değerlendirmeye göre sıralanma, marjinal kenar uyumu, bukkolingual eğim, overjet, okluzal kontak, okluzal ilişki ve toplam OGS skoru açısından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Kök eğimi skorunda ise Grup A ve Grup C arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Sabit ortodontik tedavide kök eğimi İn House Direkt üretilen şeffaf plaklara göre daha iyi sağlanmaktadır.

Gruplarımızı tedavi süresi açısından değerlendirdiğimizde ise Grup A ve Grup C arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. İn House Direkt üretilen şeffaf plaklarla yapılan ortodontik tedavi sabit ortodontik tedaviye göre daha kısa sürmektedir.

Gruplarımızı beyaz nokta lezyonu açısından değerlendirdiğimizde ise değişim miktarı Grup B'de 13, 14, 24, 25 ve 31 numaralı dişlerde diğer gruplara göre anlamlı bulunmuştur. İn House İndirekt üretilen şeffaf plaklarda beyaz nokta lezyonu oluşumuna sebep olabilmektedir.

8. KAYNAKLAR

1. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *The Angle orthodontist*. 2015;85(5):881-9.
2. Mehta F, Mehta S. Aligners: the rapidly growing trend in orthodontics around the world. *Indian J Basic Appl Med Res*. 2014;3(4):402-9.
3. Tamer İ, Öztaş E, Marşan G. Orthodontic treatment with clear aligners and the scientific reality behind their marketing: a literature review. *Turkish journal of orthodontics*. 2019;32(4):241.
4. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*. 1945;31(6):297-304.
5. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Australian dental journal*. 2017;62:58-62.
6. Martorelli M, Gerbino S, Giudice M, Ausiello P. A comparison between customized clear and removable orthodontic appliances manufactured using RP and CNC techniques. *Dental Materials*. 2013;29(2):e1-e10.
7. Ryu J-H, Kwon J-S, Jiang HB, Cha J-Y, Kim K-M. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners. *The korean journal of orthodontics*. 2018;48(5):316-25.
8. Khosravani MR, Reinicke T. On the environmental impacts of 3D printing technology. *Applied Materials Today*. 2020;20:100689.
9. Tartaglia GM, Mapelli A, Maspero C, Santaniello T, Serafin M, Farronato M, et al. Direct 3D printing of clear orthodontic aligners: current state and future possibilities. *Materials*. 2021;14(7):1799.
10. Kohda N, Iijima M, Muguruma T, Brantley WA, Ahluwalia KS, Mizoguchi I. Effects of mechanical properties of thermoplastic materials on the initial force of thermoplastic appliances. *The Angle orthodontist*. 2013;83(3):476-83.
11. Kwon J-S, Lee Y-K, Lim B-S, Lim Y-K. Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008;133(2):228-34.

12. Liu D-S, Chen Y-T. Effect of thermoplastic appliance thickness on initial stress distribution in periodontal ligament. *Advances in Mechanical Engineering*. 2015;7(4):1687814015578362.
13. Bichu YM, Alwafi A, Liu X, Andrews J, Ludwig B, Bichu AY, et al. Advances in orthodontic clear aligner materials. *Bioactive materials*. 2023;22:384-403.
14. Khorsandi D, Fahimipour A, Abasian P, Saber SS, Seyedi M, Ghanavati S, et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta biomaterialia*. 2021;122:26-49.
15. Zhang N, Bai Y, Ding X, Zhang Y. Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics. *Dental materials journal*. 2011;30(6):954-9.
16. Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, Siciliani G. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: a 24-hour in vitro study. *The Angle orthodontist*. 2016;87(1):11-8.
17. Shivapuja P-k, Shah D, Shah N, Shah S. Direct 3D-printed orthodontic aligners with torque, rotation, and full control anchors. *Google Patents*; 2019.
18. Bucci R, Rongo R, Levatè C, Michelotti A, Barone S, Razionale AV, et al. Thickness of orthodontic clear aligners after thermoforming and after 10 days of intraoral exposure: a prospective clinical study. *Progress in Orthodontics*. 2019;20:1-8.
19. Maspero C, Tartaglia GM. 3D printing of clear orthodontic aligners: Where we are and where we are going. *MDPI*; 2020. p. 5204.
20. Nakano H, Kato R, Kakami C, Okamoto H, Mamada K, Maki K. Development of biocompatible resins for 3D printing of direct aligners. *Journal of Photopolymer Science and Technology*. 2019;32(2):209-16.
21. Sun L, Huang WM, Ding Z, Zhao Y, Wang CC, Purnawali H, et al. Stimulus-responsive shape memory materials: a review. *Materials & Design*. 2012;33:577-640.
22. Lendlein A. Progress in actively moving polymers. *Journal of Materials Chemistry*. 2010;20(17):3332-4.
23. Bruni A, Serra FG, Deregibus A, Castroflorio T. Shape-memory polymers in dentistry: systematic review and patent landscape report. *Materials*. 2019;12(14):2216.
24. Voit W, Ware T, Dasari RR, Smith P, Danz L, Simon D, et al. High-strain shape-memory polymers. *Advanced functional materials*. 2010;20(1):162-71.
25. Liu C, Qin H, Mather P. Review of progress in shape-memory polymers. *Journal of materials chemistry*. 2007;17(16):1543-58.
26. Nakasima A, Hu JR, Ichinose M, Shimada H. Potential application of shape memory plastic as elastic material in clinical orthodontics. *The European Journal of Orthodontics*. 1991;13(3):179-86.

27. Lee KC, Park S-J. Digital intraoral scanners and alginate impressions in reproducing full dental arches: A comparative 3D assessment. *Applied Sciences*. 2020;10(21):7637.
28. Chia HN, Wu BM. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of biological engineering*. 2015;9:1-14.
29. Zaharia C, Gabor A-G, Gavrilovici A, Stan AT, Idorasi L, Sinescu C, et al. Digital dentistry-3D printing applications. *J Interdiscip Med*. 2017;2(1):50-3.
30. Peffley-Routt T. The advantage of digital dentistry. Grand Valley State University. 2018.
31. Liu Q, Leu MC, Schmitt SM. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *The international journal of advanced manufacturing technology*. 2006;29:317-35.
32. Al Mortadi N, Jones Q, Eggbeer D, Lewis J, Williams RJ. Fabrication of a resin appliance with alloy components using digital technology without an analog impression. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015;148(5):862-7.
33. Graf S, editor *Clinical guidelines for direct printed metal orthodontic appliances*. Seminars in Orthodontics; 2018: Elsevier.
34. von Glasenapp J, Hofmann E, Süpple J, Jost-Brinkmann P-G, Koch PJ. Comparison of two 3D-printed indirect bonding (IDB) tray design versions and their influence on the transfer accuracy. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(5):1295.
35. Bobek SL. Applications of navigation for orthognathic surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*. 2014;26(4):587-98.
36. Tsolakis IA, Gizani S, Panayi N, Antonopoulos G, Tsolakis AI. Three-dimensional printing technology in orthodontics for dental models: a systematic review. *Children*. 2022;9(8):1106.
37. CEVVAL ÖZKOÇAK BB, ŞİRİN KARAARSLAN E, AYTAÇ F. Tükürük Proteinleri ve Çürük Üzerine Etkileri. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*. 2017;23(1).
38. Ahmad I. *3D Printing in Dentistry 2019/2020*. Quintessence Publishing: Quintessence Publishing; 2019.
39. Kesling H. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment. *Am J Orthod Oral Surg* 32. 1946:285-93.
40. Nahoum HI. The vacuum formed dental contour appliance. *NY State Dent J*. 1964;9:385-90.
41. Ponitz RJ. Invisible retainers. *American journal of orthodontics*. 1971;59(3):266-72.
42. Ja M. Invisable retainers. *J Clin Orthod*. 1985;19:570-8.
43. JJ S. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *J Clin Orthod*. 1993;27:37-45.

44. Boyd RL, Waskalic V, editors. Three-dimensional diagnosis and orthodontic treatment of complex malocclusions with the invisalign appliance. *Seminars in orthodontics*; 2001: Elsevier.
45. Beers A, Choi W, Pavlovskaia E. Computer-assisted treatment planning and analysis. *Orthodontics & craniofacial research*. 2003;6:117-25.
46. Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *Journal of orthodontics*. 2016;43(1):68-76.
47. Ganta GK, Cheruvu K, Ravi RK, Reddy RP. Clear aligners, the aesthetic solution: a review. *International Journal of Dental Materials*. 2021;3(3):90-5.
48. Moshiri M, Kravitz ND, Nicozisis J, Miller S, editors. Invisalign eighth-generation features for deep-bite correction and posterior arch expansion. *Seminars in Orthodontics*; 2021: Elsevier.
49. Wajekar N, Pathak S, Mani S. Rise & review of invisalign clear aligner system. *IP Indian J Orthod Dentofac Res*. 2022;8(1):7-11.
50. Boyd RL, Miller RJ, Vlaskalic V. The Invisalign system in adult orthodontics: mild crowding and space closure cases. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2000;34(4):203-12.
51. Pazzini L, Cerroni L, Pasquantonio G, Pecora A, Mussi V, Rinaldi A, et al. Mechanical properties of “two generations” of teeth aligners: Change analysis during oral permanence. *Dental Materials Journal*. 2018;37(5):835-42.
52. Lagravere MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review. *The Journal of the American Dental Association*. 2005;136(12):1724-9.
53. Schuster S, Eliades G, Zinelis S, Eliades T, Bradley TG. Structural conformation and leaching from in vitro aged and retrieved Invisalign appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2004;126(6):725-8.
54. Eliades T, Bourauel C. Intraoral aging of orthodontic materials: the picture we miss and its clinical relevance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005;127(4):403-12.
55. Bräscher A-K, Zuran D, Feldmann RE, Benrath J. Patient survey on Invisalign® treatment compared the SmartTrack® material to the previous aligner material. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2016;77(6):432-8.
56. Liu L, Sun W-T, Liao W, Lu W-X, Li Q-W, Jeong Y, et al. Colour stabilities of three types of orthodontic clear aligners exposed to staining agents. *国际口腔科学杂志: 英文版*. 2016;8(004).
57. Blundell HL, Weir T, Byrne G. Predictability of overbite control with the Invisalign appliance comparing SmartTrack with precision bite ramps to EX30. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2022;162(2):e71-e81.

58. Kuo E, Miller RJ. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2003;123(5):578-81.
59. Beers A, Duong T. Mechanics of tooth movement with Invisalign. *The Invisalign System* New Malden, United Kingdom: Quintessenz. 2006:149-51.
60. Joffe L. Invisalign®: early experiences. *Journal of orthodontics*. 2003;30(4):348-52.
61. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & craniofacial research*. 2017;20(3):127-33.
62. Miethke R-R, Vogt S. Vergleich der Parodontalbefunde zwischen Invisalign®-und Multibracketpatienten. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2005;66:219-29.
63. Kuncio D, Maganzini A, Shelton C, Freeman K. Invisalign and traditional orthodontic treatment postretention outcomes compared using the American Board of Orthodontics objective grading system. *The Angle orthodontist*. 2007;77(5):864-9.
64. Phan X, Ling PH. Clinical limitations of Invisalign. *Journal of the Canadian Dental Association*. 2007;73(3).
65. Khosravi R, Gidarakou I, Salazar T, editors. Essential factors in developing an efficient in-office aligner system. *Seminars in Orthodontics*; 2022: Elsevier.
66. Aljabaa AH. Clear aligner therapy—Narrative review. *Journal of International Oral Health*. 2020;12(Suppl 1):S1-S4.
67. Hartshorne J, Wertheimer MB. Emerging insights and new developments in clear aligner therapy: a review of the literature. *AJO-DO Clinical Companion*. 2022;2(4):311-24.
68. Kasper FK. 3D printing applications in clear aligner fabrication. *Embracing Novel Technologies in Dentistry and Orthodontics*. 2020;56:7-21.
69. Edelmann A, English JD, Chen SJ, Kasper FK. Analysis of the thickness of 3-dimensional-printed orthodontic aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2020;158(5):e91-e8.
70. Nasef AA, El-Beialy AR, Mostafa YA. Virtual techniques for designing and fabricating a retainer. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2014;146(3):394-8.
71. Jindal P, Juneja M, Siena FL, Bajaj D, Breedon P. Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019;156(5):694-701.
72. Peeters B, Kiratli N, Semeijn J. A barrier analysis for distributed recycling of 3D printing waste: Taking the maker movement perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2019;241:118313.

73. Quan H, Zhang T, Xu H, Luo S, Nie J, Zhu X. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioactive materials*. 2020;5(1):110-5.
74. Macrì M, Murmura G, Varvara G, Traini T, Festa F. Clinical performances and biological features of clear aligners materials in orthodontics. *Frontiers in Materials*. 2022;9:819121.
75. Riolo CS, Bayirli B. In-house orthodontic workflow using 3D printing. Embracing novel technologies in dentistry and orthodontics. 2020;56:22-35.
76. Lee SY, Kim H, Kim H-J, Chung CJ, Choi YJ, Kim S-J, et al. Thermo-mechanical properties of 3D printed photocurable shape memory resin for clear aligners. *Scientific reports*. 2022;12(1):6246.
77. Chalmers JM, Meier RJ. *Molecular characterization and analysis of polymers*: Elsevier; 2008.
78. Condò R, Mampieri G, Giancotti A, Cerroni L, Pasquantonio G, Divizia A, et al. SEM characterization and ageing analysis on two generation of invisible aligners. *BMC Oral Health*. 2021;21(1):316.
79. Kundal S, Shokeen T. Aligners: The science of clear orthodontics. *International Journal of Dental and Medical Specialty*. 2020;7(1):38-42.
80. Dupaix RB, Boyce MC. Finite strain behavior of poly (ethylene terephthalate)(PET) and poly (ethylene terephthalate)-glycol (PETG). *Polymer*. 2005;46(13):4827-38.
81. McKen LW. *Film properties of plastics and elastomers*: William Andrew; 2017.
82. Lanaro M, Booth L, Powell SK, Woodruff MA. Electrofluidodynamic technologies for biomaterials and medical devices: melt electrospinning. *Electrofluidodynamic technologies (EFDTs) for biomaterials and medical devices*: Elsevier; 2018. p. 37-69.
83. Latko-Durałek P, Dydek K, Boczkowska A. Thermal, rheological and mechanical properties of PETG/rPETG blends. *Journal of Polymers and the Environment*. 2019;27:2600-6.
84. Hassan MH, Omar AM, Daskalakis E, Hou Y, Huang B, Strashnov I, et al. The potential of polyethylene terephthalate glycol as biomaterial for bone tissue engineering. *Polymers*. 2020;12(12):3045.
85. Iijima M, Kohda N, Kawaguchi K, Muguruma T, Ohta M, Naganishi A, et al. Effects of temperature changes and stress loading on the mechanical and shape memory properties of thermoplastic materials with different glass transition behaviours and crystal structures. *European Journal of Orthodontics*. 2015;37(6):665-70.
86. Frick A, Rochman A. Characterization of TPU-elastomers by thermal analysis (DSC). *Polymer testing*. 2004;23(4):413-7.
87. Griffith M, Fields HW, Ni A, Guo X, Lee DJ, Deguchi T. Comparison of 2 Invisalign tray generations using the Peer Assessment Rating index. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2021;160(5):718-24.

88. Medellín-Rodríguez F, Phillips P, Lin J, Avila-Orta C. Triple melting behavior of poly (ethylene terephthalate co-1, 4-cyclohexylene dimethylene terephthalate) random copolyesters. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*. 1998;36(5):763-81.
89. Hwang S-H, Jeong K-S, Jung J-C. Thermal and mechanical properties of amorphous copolyester (PETG)/LCP blends. *European polymer journal*. 1999;35(8):1439-43.
90. Suresha B, Lee J-H. Mechanical and three-body abrasive wear behaviour of PMMA/TPU blends. *Materials Science and Engineering: A*. 2008;492(1-2):486-90.
91. Yan Song M, Fang DY, Zhang N, Ding XJ, Zhang KY, Bai YX. Mechanical properties of orthodontic thermoplastics PETG/PC2858 after blending. *Chin J Dent Res*. 2016;19:43-8.
92. Seeger P, Ratfisch R, Moneke M, Burkhart T. Addition of thermo-plastic polyurethane (TPU) to poly (methyl methacrylate)(PMMA) to improve its impact strength and to change its scratch behavior. *Wear*. 2018;406:68-74.
93. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *British dental journal*. 2015;219(11):521-9.
94. Cole D, Bencharit S, Carrico CK, Arias A, Tüfekçi E. Evaluation of fit for 3D-printed retainers compared with thermoform retainers. *American Journal of orthodontics and Dentofacial orthopedics*. 2019;155(4):592-9.
95. Barone S, Paoli A, Razionale AV, Savignano R. Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners. *International journal for numerical methods in biomedical engineering*. 2017;33(8):e2839.
96. Can E, Panayi N, Polychronis G, Papageorgiou SN, Zinelis S, Eliades G, et al. In-house 3D-printed aligners: effect of in vivo ageing on mechanical properties. *European journal of orthodontics*. 2022;44(1):51-5.
97. Lombardo L, Arreghini A, Maccarrone R, Bianchi A, Scalia S, Siciliani G. Optical properties of orthodontic aligners—spectrophotometry analysis of three types before and after aging. *Progress in Orthodontics*. 2015;16:1-8.
98. Gold BP, Siva S, Duraisamy S, Idaayath A, Kannan R. Properties of orthodontic clear aligner materials-a review. *J evol med dent sci*. 2021;10(37):3288-94.
99. Kusy RP. Orthodontic biomaterials: from the past to the present. *The Angle orthodontist*. 2002;72(6):501-12.
100. Abdallah M-N, Lou T, Retrouvey J-M, Suri S. Biomaterials used in orthodontics: brackets, archwires, and clear aligners. *Advanced Dental Biomaterials: Elsevier*; 2019. p. 541-79.
101. Trang Duong D, Eric Kuo D. Finishing with invisalign. *Progress in orthodontics*. 2006;7(1):44-55.
102. Upadhyay M, Arqub SA. Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles. *Journal of the World Federation of Orthodontists*. 2022;11(1):12-21.

103. Carniel EL, Fontanella CG, Stefanini C, Natali A. A procedure for the computational investigation of stress-relaxation phenomena. *Mechanics of Time-Dependent Materials*. 2013;17:25-38.
104. Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. Continuous versus interrupted continuous orthodontic force related to early tooth movement and root resorption. *The Angle orthodontist*. 1995;65(6):395-401.
105. Berger J, Waram T. Force levels of nickel titanium initial archwires. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 2007;41(5):286-92.
106. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;145(6):728-36.
107. Chisari JR, McGorray SP, Nair M, Wheeler TT. Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;145(4):S82-S91.
108. Fang D, Zhang N, Chen H, Bai Y. Dynamic stress relaxation of orthodontic thermoplastic materials in a simulated oral environment. *Dental materials journal*. 2013;32(6):946-51.
109. Zafeiriadis AA, Karamouzos A, Athanasiou AE, Eliades T, Palaghias G. An in vivo spectrophotometric evaluation of Vivera® and Essix® clear thermoplastic retainer discolouration. *Australasian Orthodontic Journal*. 2018;34(1):3-10.
110. Talic NF, Almudhi AA. The effect of dietary pigmentation on the esthetic appearance of clear orthodontic elastomeric modules. *Journal of Orthodontic Science*. 2016;5(2):70-3.
111. Dalaie K, Fatemi SM, Ghaffari S. Dynamic mechanical and thermal properties of clear aligners after thermoforming and aging. *Progress in Orthodontics*. 2021;22:1-11.
112. Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE, Dykhouse VJ, Moffitt AH, Grubb JE, et al. The ABO's 75th anniversary: a retrospective glance at progress in the last quarter century. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004;125(3):279-83.
113. Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens Jr SE, Dykhouse VJ, Moffitt AH, Grubb JE, et al. The ABO discrepancy index: a measure of case complexity. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004;125(3):270-8.
114. Casco JS, Vaden JL, Kokich VG, Damone J, James RD, Cangialosi TJ, et al. Objective grading system for dental casts and panoramic radiographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1998;114(5):589-99.
115. Chaison ET, Liu X, Tuncay OC. The quality of treatment in the adult orthodontic patient as judged by orthodontists and measured by the Objective Grading System. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011;139(4):S69-S75.

116. Viwattanatipa N, Buapuean W, Komoltri C. Relationship between discrepancy index and the objective grading system in thai board of orthodontics patients. *Orthodontic Waves*. 2016;75(3):54-63.
117. Borda AF, Garfinkle JS, Covell Jr DA, Wang M, Doyle L, Sedgley CM. Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions. *The Angle orthodontist*. 2020;90(4):485-90.
118. Dastoori M, Bouserhal JP, Halazonetis DJ, Athanasiou AE. Anterior teeth root inclination prediction derived from digital models: A comparative study of plaster study casts and CBCT images. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2018;10(11):e1069.
119. Shah MJ, Kubavat AK, Patel KV, Prajapati NH. Fabrication of in-house aligner-A review. *J Contemp Orthod*. 2022;6:120-4.
120. Al-Nadawi M, Kravitz ND, Hansa I, Makki L, Ferguson DJ, Vaid NR. Effect of clear aligner wear protocol on the efficacy of tooth movement: A randomized clinical trial. *The Angle orthodontist*. 2021;91(2):157-63.
121. Gauthier M, Stangel I, Ellis T, Zhu X. Oxygen inhibition in dental resins. *Journal of dental research*. 2005;84(8):725-9.
122. Panayi N, Cha J-Y, Kim KB, editors. *3D Printed Aligners: material science, workflow and Clinical applications*. *Seminars in Orthodontics*; 2023: Elsevier.
123. Tozlu M, Ozdemir F. In-house aligners: why we should fabricate aligners in our clinics? *Turkish journal of orthodontics*. 2021;34(3):199.
124. Vlaskalic V, Boyd RL. Clinical evolution of the Invisalign appliance. *Journal of the California Dental Association*. 2002;30(10):769-75.
125. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;135(1):27-35.
126. Kravitz ND, Kusnoto B, Agran B, Viana G. Influence of attachments and interproximal reduction on the accuracy of canine rotation with Invisalign: a prospective clinical study. *The Angle orthodontist*. 2008;78(4):682-7.
127. Dai F-F, Xu T-M, Shu G. Comparison of achieved and predicted tooth movement of maxillary first molars and central incisors: first premolar extraction treatment with Invisalign. *The Angle orthodontist*. 2019;89(5):679-87.
128. Korkmaz YN. Akrilik bonded hızlı üst çene genişletme apareyi uygulanan hastalarda beyaz nokta lezyonlarını önleme yöntemlerinin karşılaştırılması.
129. van Gastel J, Quirynen M, Teughels W, Carels C. The relationships between malocclusion, fixed orthodontic appliances and periodontal disease. A review of the literature. *Australasian Orthodontic Journal*. 2007;23(2):121-9.
130. Krishnan V, Davidovitch Z. The effect of drugs on orthodontic tooth movement. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2006;9(4):163-71.

131. Bajaj D, Rawat A, Gill DK, Juneja M, Jindal P, editors. Efficacy of Softwares for Generation of Dental Aligners. Proceedings of 2nd International Conference on Communication, Computing and Networking: ICCCN 2018, NITTTR Chandigarh, India; 2019: Springer.
132. D'haese R, Vrombaut T, Hommeez G, De Bruyn H, Vandeweghe S. Accuracy of Guided Implant Surgery Using an Intraoral Scanner and Desktop 3D-Printed Tooth-Supported Guides. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2022;37(3).
133. Nestler N, Wesemann C, Spies BC, Beuer F, Bumann A. Dimensional accuracy of extrusion-and photopolymerization-based 3D printers: In vitro study comparing printed casts. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021;125(1):103-10.
134. Yan D, Liu Y, Che X, Mi S, Jiao Y, Guo L, et al. Changes in the microbiome of the inner surface of clear aligners after different usage periods. *Current Microbiology*. 2021;78:566-75.
135. Deguchi T, Honjo T, Fukunaga T, Miyawaki S, Roberts WE, Takano-Yamamoto T. Clinical assessment of orthodontic outcomes with the peer assessment rating, discrepancy index, objective grading system, and comprehensive clinical assessment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005;127(4):434-43.
136. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2005;128(3):292-8.
137. Lieber WS, Carlson SK, Baumrind S, Poulton DR. Clinical use of the ABO-Scoring Index: reliability and subtraction frequency. *The Angle orthodontist*. 2003;73(5):556-64.
138. Santiago JJ, Martínez CJ. Use of the objective grading system of the American Board of Orthodontics to evaluate treatment outcomes at the Orthodontic Graduate Program Clinic, University of Puerto Rico, 2007-2008. *Puerto Rico health sciences journal*. 2012;31(1).
139. Farhadian N, Miresmaeili AF, Soltani M. Comparison of extraction and non-extraction orthodontic treatment using the objective grading system. *Frontiers in Dentistry*. 2005:91-5.
140. Anthopoulou C, Konstantonis D, Makou M. Treatment outcomes after extraction and nonextraction treatment evaluated with the American Board of Orthodontics objective grading system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;146(6):717-23.
141. Onyeaso CO, Begole EA. Relationship between index of complexity, outcome and need, dental aesthetic index, peer assessment rating index, and American Board of Orthodontics objective grading system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;131(2):248-52.

142. Qasem MA. ICON indeksi, PAR indeksi ve ABO-OGS/cre sistemi kullanılarak çekimli ve çekimsiz tedavilerin sonuçlarının değerlendirilmesi. 2015.
143. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *American journal of orthodontics*. 1982;81(2):93-8.
144. Bishara SE, Ostby AW, editors. White spot lesions: formation, prevention, and treatment. *Seminars in orthodontics*; 2008: Elsevier.
145. Atilla AO, Ozturk T, Eruz MM, Yagci A. A comparative assessment of orthodontic treatment outcomes using the quantitative light-induced fluorescence (QLF) method between direct bonding and indirect bonding techniques in adolescents: a single-centre, single-blind randomized controlled trial. *European Journal of Orthodontics*. 2020;42(4):441-53.
146. Knaup I, Kobbe C, Ehrlich E-E, Esteves-Oliveira M, Abou-Ayash B, Meyer-Lueckel H, et al. Correlation of quantitative light-induced fluorescence and qualitative visual rating in infiltrated post-orthodontic white spot lesions. *European journal of orthodontics*. 2023;45(2):133-41.
147. Susan A-K, Forsberg C-M, de Jong EdJ, Angmar-Månsson B. A longitudinal laser fluorescence study of white spot lesions in orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1998;113(6):595-602.
148. Van der Veen M, de Jong EdJ. Application of quantitative light-induced fluorescence for assessing early caries lesions. *Monogr Oral Sci*. 2000;17:144-62.
149. Yagci A, Korkmaz YN, Buyuk SK, Yagci F, Atilla AO. White spot lesion formation after treatment with full-coverage rapid maxillary expanders. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016;149(3):331-8.
150. Parekh UD, Shetti S, Agrawal J, Agrawal M, Nanjannawar L, Fulari S. COMPARATIVE EVALUATION OF TREATMENT OUTCOMES OF ALIGNERS AND FIXED MECHANOTHERAPY: A META-ANALYSIS.
151. Gaffuri F, Cossellu G, Lanteri V, Brotto E, Farronato M. Comparative effectiveness of Invisalign and fixed appliances in first-premolar extraction cases. *JOURNAL OF CLINICAL ORTHODONTICS*. 2020;54(5):294-301.
152. Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC oral health*. 2019;19:1-10.
153. Lin E, Julien K, Kesterke M, Buschang PH. Differences in finished case quality between Invisalign and traditional fixed appliances: A randomized controlled trial. *The Angle orthodontist*. 2022;92(2):173-9.
154. Pinskaya YB, Hsieh T-J, Roberts WE, Hartsfield Jr JK. Comprehensive clinical evaluation as an outcome assessment for a graduate orthodontics program. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004;126(5):533-43.

155. Hertan E, McCray J, Bankhead B, Kim KB. Force profile assessment of direct-printed aligners versus thermoformed aligners and the effects of non-engaged surface patterns. *Progress in Orthodontics*. 2022;23(1):49.
156. Li W, Wang S, Zhang Y. The effectiveness of the Invisalign appliance in extraction cases using the the ABO model grading system: a multicenter randomized controlled trial. *International journal of clinical and experimental medicine*. 2015;8(5):8276.
157. Jaber ST, Hajeer MY, Burhan AS. The effectiveness of in-house clear aligners and traditional fixed appliances in achieving good occlusion in complex orthodontic cases: a randomized control clinical trial. *Cureus*. 2022;14(10).
158. Knode V, Ludwig B, Retrouvey J-M, Pandis N, Schmid JQ, Erbe C, et al. Directly printed aligner therapy: A 12-month evaluation of application and effectiveness. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2025;167(1):73-9.
159. Migliorati M, Drago S, Castroflorio T, Pesce P, Battista G, Campobasso A, et al. Accuracy of orthodontic movements with 3D printed aligners: A prospective observational pilot study. *Korean Journal of Orthodontics*. 2024;54(3):160.
160. Viet H, Lam TH, Phuc NN, Lenh NN, Thao DTN. Class II correction and crowding treatment using in-house direct printed clear aligners: a literature review and case report. *Cureus*. 2024;16(7):e65024.
161. Gu J, Tang JS, Skulski B, Fields Jr HW, Beck FM, Firestone AR, et al. Evaluation of Invisalign treatment effectiveness and efficiency compared with conventional fixed appliances using the Peer Assessment Rating index. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017;151(2):259-66.
162. Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM. Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *The Angle orthodontist*. 2014;84(3):391-6.
163. Pavoni C, Lione R, Laganà G, Cozza P. Self-ligating versus Invisalign: analysis of dento-alveolar effects. *Annali di stomatologia*. 2011;2(1-2):23.
164. Özsaygılı M. Tek aşamalı ve üç aşamalı uygulanan farklı ortodontik şeffaf plak tekniklerinin hasta konforu, memnuniyeti, tedavi etkileri ve süresi açısından değerlendirilmesi. *Uzmanlık Tezi, Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi*; 2019.
165. Helmerhorst EJ. Protective functions of saliva. *Saliva and oral health*. 2012;115.
166. Sundararaj D, Venkatachalapathy S, Tandon A, Pereira A. Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*. 2015;5(6):433-9.
167. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Periodontal health during clear aligners treatment: a systematic review. *European journal of orthodontics*. 2014;37(5):539-43.

168. Song Z, Fang S, Guo T, Wen Y, Liu Q, Jin Z. Microbiome and metabolome associated with white spot lesions in patients treated with clear aligners. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2023;13:1119616.
169. Guo R, Zheng Y, Liu H, Li X, Jia L, Li W. Profiling of subgingival plaque biofilm microbiota in female adult patients with clear aligners: a three-month prospective study. *PeerJ*. 2018;6:e4207.
170. Liu Q, Song Z. Incidence, severity, and risk factors for white spot lesions in adolescent patients treated with clear aligners. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2024.
171. Castroflorio T, Sedran A, Parrini S, Garino F, Reverdito M, Capuozzo R, et al. Predictability of orthodontic tooth movement with aligners: effect of treatment design. *Progress in orthodontics*. 2023;24(1):2.

